

JERN-KONTORETS ANNALER,

NY SERIE.

TIDSKRIFT

FÖR

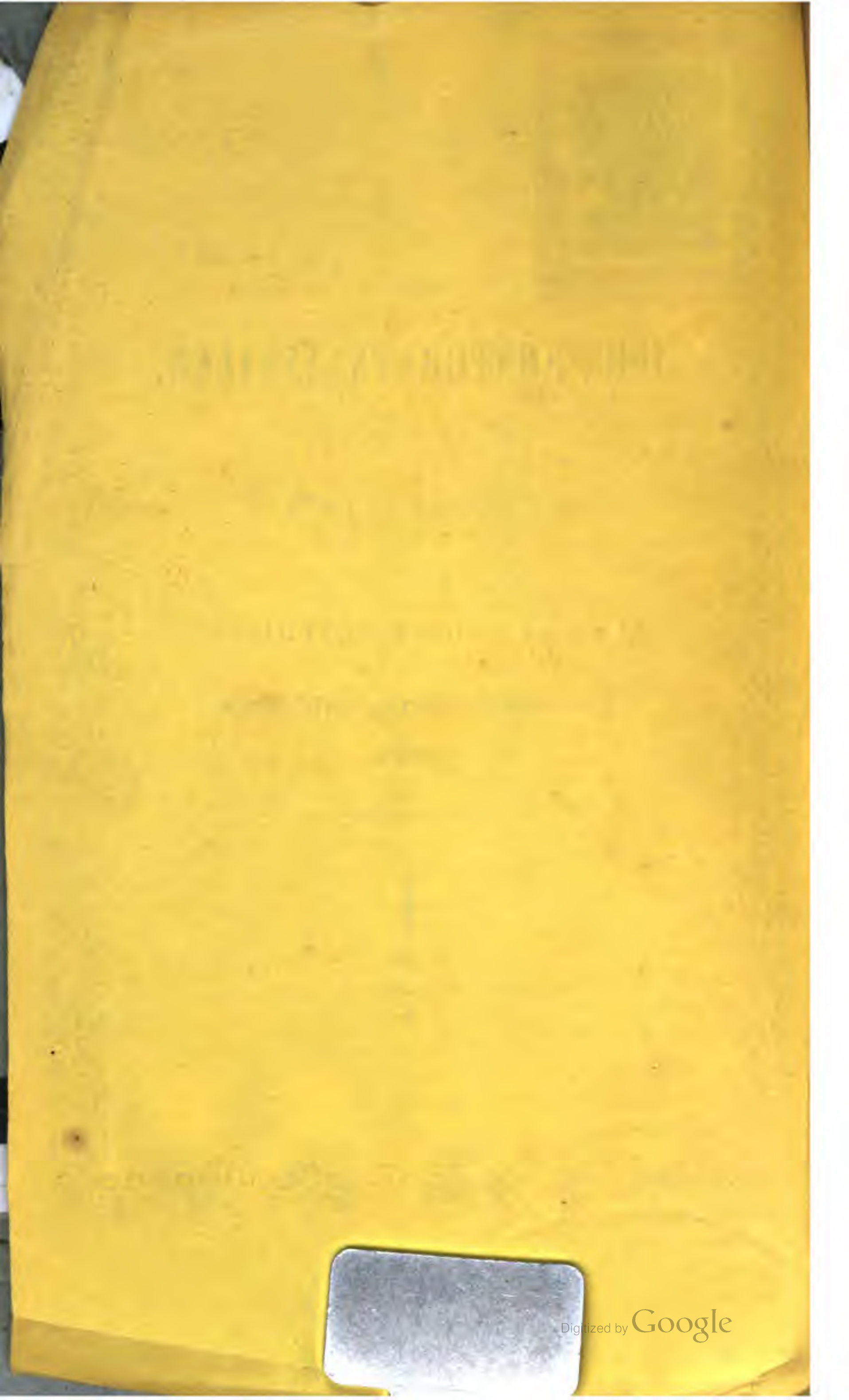
SVENSKA BERGSHANDTERINGEN.

TJUGONDEFÖRSTA ÅRGÅNGEN

1866.

Andra Häftet.

Med tre plancher.



JERN-KONTORETS ANNALER,

Ny Serie.

EN TIDSKRIFT FÖR SVENSKA BERGSHANDTERINGEN.

Häft. 2. 1866.

Om jerns och ståls elasticitet, tänjbarhet och absoluta styrka; af *K. Styffe.*

(Forts. fr. häft. 1).

Fosfors inflytande på stål.

Rörande fosforns inverkan på stål är vår kännedom ännu ofullständigare, än om den på jern. Man antager dock temligen allmänt och, såsom det synes, på goda skäl, att för stål är fosforn vida skadligare, samt att, ju fosforrikare ett stål är, desto förr förlorar detta vid förnyade upphettningar sin stålnatur, så att det slutligen icke vidare låter härda sig, hvartill den, för sina undersökningar rörande stål bekante, franske kemisten Caron uppgifver orsaken vara, att fosfor, likasom silicium och svafvel, i hetta afskiljer kolet från dess intimare kemiska förening med jernet. Det vissa är, att de stålsorter, som äro mest utmärkta för sin egenskap att tåla många vällningar, utan att märkbart förändras, såsom de af Dannemora-malmer tillverkade, äfven äro de, som innehålla minsta mängd fosfor, och jag känner ej någon tillförlitlig uppgift om högre fosforhalt än 0,04 % hos stål, som ansetts vara godt.

Verkan af härdning på ståls och jerns elasticitetsgräns, tänjbarhet och absoluta styrka.

Genom glödgning och afkylning i vatten höjes elasticitetsgränsen icke blott hos stål, såsom allmänt kändt är, utan äfven, ehuru i vida mindre grad, hos mycket mjukt jern, till bevis hvarå vi torde få omförmäla följande försök Då vi delade en 12

fot lång stång af puddeljern från Motala i 2:ne lika delar samt undersökte den ena delen sådan den var, men den andra efter härdning i vatten, befanns elasticitetsgränsen hos den förra, som under N:o 30 är upptagen i bifogade tab. IV, ligga vid 370 ℔ och hos den sednare vid 408 ℔ eller 38 ℔ högre, allt naturligtvis på qv.-linie räknadt. En stång »Cleveland»-jern delades ock på lika sätt i 2:ne delar, och dessa glödgades tillsammans, på det upphettningen skulle blifva i möjligaste mån lika för båda; men derefter fick den ena delen afsvalna långsamt, inbäddad i varmt kolstybbe, och den andra afkyldes i vatten. Elasticitetsgränsen hos den långsamt afsvalnade delen låg nu vid 403 och hos den härdade vid 429 ℔. En stång af det med G märkta puddeljernet från Surahammar, hvars elasticitetsgräns efter glödgning och långsam afsvalning låg vid 384 ℔, fick genom förnyad glödgning samt afkylning i vatten elasticitetsgränsen höjd till 407 ℔, och genom att på lika sätt behandla en stång af det mjuka Lancashire-jernet från Lesjöforss, hvars kolhalt var endast 0,08 %, höjdes dess elasticitetsgräns från 270 till 464 ℔, men sänktes genom glödgning och långsam afsvalning åter till omkring 300 ℔.

För att erfara, hvilken verkan härdning utöfvar på absoluta styrkan och tänjbarheten hos stål och jern, hafva vi äfven anställt en serie försök, hvilka likväl, enär de företagits först sedan öfriga undersökningar voro i det närmaste afslutade, vi dels af brist på lämpliga profstänger, dels ock af brist på tid icke kunnat göra så upplysande, som vi skulle önskat. De till dessa försök använda stänger, af hvilka flera förut blifvit undersökta och afslitna, hafva merendels varit 0,8 till 1 fot långa, samt å midten på en längd af 5—40 linier rektangulärt

affilade, så att de vid afslitning alltid der måst brista.

Resultaten, som i det väsendtligaste öfverensstämma med dem, till hvilka en engelsk författare, Kirkaldy *), kommit, innehållas i tab. VI och ådagalägga, att absoluta styrkan såväl hos jern som stål ökas genom härdning, så framt sättet, hvarpå denna utföres är behörigen lämpadt efter materialets beskaffenhet. Att hårdt stål, om det efter härdning i vatten ej anlöpes, visar sig ytterst svagt, beror utan tvifvel derpå, att, genom den vid detta härdningssätt åstadkomna ojemna sammandragning, en så stark spänning emellan stålets partiklar uppstår, att ett ganska litet tillskott af någon yttre kraft erfordras för att öfvervinna kohesionen.

Elasticitetsmodulen hos jern och stål. Olika uppgifter rörande dess storlek.

Hvad slutligen angår storleken af elastisitetsmodulen eller måttet på den elastiska kraften hos jern och stål samt hos särskilda slag deraf, så äro, på sätt redan är antydt, uppgifterna derom mycket olika hos olika författare. Sålunda skulle elasticitetsmodulen, uttryckt i svenska ℔ och hänförd till svensk qv.-linie såsom ytenhet, enligt Redtenbacher (Der Maschinenbau, 1 Th. pag. 4) variera för jern emellan 310000 och 518000 samt för stål emellan 415000 och 497000, hvaremot Reuleaux (Der Constructeur, pag. 4) uppgifver den för jern i form af stånger eller tråd vara omkring 415000, för jernbleck 352000 och för gjutstål 622000, men för annat stål endast 415000. De af Lagerhjelm, Wertheim och Hodgkinson anställda sträckförsök angifva dock icke så stora skiljaktigheter.

Nyligen har elasticitetsmodulen för åtskilliga

*) »Experiments on Wrought-iron and steel», by David Kirkaldy. Glasgow 1862, pag. 93.

jern- och stålsorter blifvit bestämd af Kuppfer*), men icke genom sträckning, utan dels genom böjning, dels ock genom transversala svängningar. Enligt hans undersökningar har elasticitetsmodulen, uttryckt i ℔ på qv.-linie, för nedannämnda jern- och stålsorter följande värden.

	Egentlig vigt.		Elasticitets-modul.
Jernplåt, i valsningens rigtning...	7,6763	—	365300
D:o, i vinkelrät rigtning emot den, hvari valsningen skett	7,6775	—	396900
Valsadt, engelskt bandjern	7,6432	—	414800
Smidt, engelskt stångjern	7,6411	—	419400
Smidt, svenskt stångjern	7,8315	—	442400
Mjukt gjutstål	7,842	—	442200
Stål från Remscheid (passande till filar)	7,8187	—	452000

Kuppfer fann äfven, att om hos härdadt stål härdningen genom glödgning borttages, modulen, då stålet är mycket hårdt, kan ökas med ända till 6,5 procent. I de flesta handböcker i praktisk mekanik, t. ex. Morin m. fl., uppgifves deremot, att elasticitetsmodulen hos härdadt gjutstål är nära 50 procent större, än hos ohärdadt stål, hvaraf man skulle kunna förledas tro, att härdning höjer elasticitetsmodulen.

Coulomb, Tredgold och Lagerhjelm åter påstå, på grund af några af dem anställda försök, att härdning icke har något inflytande på elasticitetsmodulens storlek.

Med anledning af ofvan anförda, hvarandra motsägande uppgifter, och då utredningen af ifrågavarande ämne åtminstone i vissa fall kan vara af



*) Recherches experimentales sur l'élasticité des métaux &c. par A. I. Kuppfer, S:t Petersbourg 1860.

stor praktisk vigt, t. ex. beträffande gjutstålet, för hvilket elasticitetsmodulen enligt flera författare skulle kunna vara ända till 50 procent större, än för annat stål och jern, så att deraf gjorda föremål skulle svigta endast $\frac{2}{3}$ så mycket, som likartade föremål med samma dimensioner, förfärdigade af något bland de begge sistnämnda materialierna, har jag äfven sökt genom såväl sträckning som böjning bestämma elasticitetsmodulens storlek för åtskilliga bland de jern- och stålsorter, af hvilka jag haft lämpliga prof.

Formel för elasticitets-modulens beräkning.

Formeln för elasticitetsmodulens bestämning genom sträckning erhålles lätt på följande sätt. Om vi med L och L' beteckna en stångs längd, när den spännes af krafterna P och P', hvilka äro så valda, att de ej förorsaka någon märkbar permanent förlängning, med l dess längd, sedan nämnda krafter upphört att verka, med a dess genomskärningsarea och med E materialets elasticitetsmodul; så är $L-l=\frac{Pl}{aE}$ och $L'-l=\frac{P'l}{aE}$, hvaraf $L'-L=\frac{P'-P}{aE}l$, och $E=\frac{P'-P}{L'-L}\cdot\frac{l}{a}$. Man begagnar helst sistnämnda formel för elasticitetsmodulens bestämning, enär stången, då den icke är spänd, alltid är något krokig, och $L'-L$ derföre kan med större noggrannhet uppmätas, än $L-l$ eller $L'-l$. Bestämmandet af längden $L'-L$ på 1—2 % nära är dock, åtminstone för mjukt jern, hvars elasticitetsgräns icke genom sträckning eller annan mekanisk behandling blifvit högt uppdrifven, en ingalunda lätt uppgift, emedan $L'-L$ för en 5 fot lång stång af sådant jern icke kan tagas större, än omkring 0,20 linie eller högst 3 af våra skaldelar, och i detta fall ej blott en liten olika böjning hos stången af 0,1 linie kan förorsaka en skenbar olikhet

i förlängningen af mer än 2 %, utan ock vid afläsningarne, på sätt förut är nämdt, fel stigande till omkring 0,05 skaldel och således öfver 1,5 % möjligen kunna begås, samt dessutom smärre fel kunna uppkomma genom temperaturförändringar hos stången. Jag har derföre vid elasticitetsmodulens bestämmande alltid haft stången innesluten i den längre fram till alla sina detaljer närmare beskrifna, på pl. IX, fig. 1—4 aftecknade apparat, hvarigenom jag dels kunnat hafva stången omgifven af vatten och sålunda hålla dess temperatur i det närmaste konstant eller åtminstone noggrannare mäta förändringarne af densamma, dels ock medelst den å nämnda apparat anbragta visare-inrättning kunnat både kontrollera, det stången blifvit rätt insatt, så att den spännande kraften verkat i möjligaste mån centralt och icke böjt densamma, och mäta storleken af de små förändringar i stångens krökning, hvilka vid olika spänning kunnat ega rum.

Beskrifning af den apparat, hvari profstängerna vid elasticitetsmodulens bestämning varit inpassade.

Nämnda apparat består hufvudsakligen af ett messingsrör A, fig. 1 och 2, pl. IX, i hvars kärnlinie stången insättes och qvarhålles af 2:ne små messingslager *a*, *a*, hvilka åter äro inpassade i de korta rörstyckena *b*, *b*. Dessa lager omsluta stången så tätt, att ingen märkbar glappning eger rum, och, på det stången med minsta möjliga friktion må kunna förlänga eller sammandraga sig, bör den här vara polerad. Straxt utanför rören *b*, *b* sättas på stången helt smala kautschuk-ringar, och öfver dessa samt rörstyckena *b*, *b* bindas tunna kautschukrör, så att dessa väl hindra vätskan i apparaten att uttränga, men icke äro hinderliga för stångens rörelse. Sedan en profstång blifvit fullständigt inpassad, har en vigt af 2—5 ℔ varit tillräcklig för att öfvervinna friktionen i begge ändarne, och då det under sträckningen är nog, om stången kan

röra sig i ett af lagren *a, a,* kan motståndet, som hindrar stångens förlängning eller sammandragning, icke uppgå till mer än högst hälften af berörde kraft samt förtjenar alltså icke något afseende. Tätt utanför nämnda tunna kautschuk-rör fästas på vanligt sätt de begge skalorna. Den inrättning åter, som har till ändamål att angifva stångens olika krökning vid särskilda tillfällen, visas i fig. 3 och 4 å pl. IX. Den utgöres af 2:ne små stålstänger *d, d,* som hafva sin ledning i midten af de i rät vinkel emot hvarandra ställda, men emot horizonten under en vinkel af 45 grader lutande rören *e, e* samt med sina öfra, tillspetsade ändar röra visarne *f, f.* Stängerna *d, d* stödja sig löst antingen på ett å profstångens midt fastlödt, i rät vinkel böjdt samt väl planfiladt messingsbleck, hvars sidor, då profstången är inpassad, måste hafva en lutning emot horizonten af 45 grader och således vara vinkelräta emot förenämnda stänger, eller ock på sjelfva profstången, om denna ursprungligen varit rund, men för undersökning af elasticitetsgränsens läge vid olika värmegrader, af skäl, som framdeles skola angifvas, blifvit på sin mellersta del filad fyrkantig. I sednare fallet måste naturligtvis äfven profstången vara så inpassad, att den fyrkantiga delens ytor äro vinkelräta emot stängerna *d, d,* på sätt af fig. 4 antydes. Nålarne *f, f,* som äro rörliga kring en horizontel axel vid *g,* tvingas af små spiralfjedrar att med sina kortare och utplattade ändar ligga an emot öfra ändarne af stålstängerna *d, d.* Sistnämnda stänger måste således följa de transversala rörelserna af profstångens midt i förhållande till kärnlinierna i lagren *a, a,* och medelst visare-apparaterna F, F kunna nu dessa rörelser med noggrannhet iakttagas. Gradbågarne *h, h* äro fästade vid stänger *i, i* samt kunna medelst ställskrufvarna *k, k*

höjas eller sänkas, så att visarne vid försökens början, eller när sådant eljest anses lämpligt, ställas på gradbågarnes nollpunkter. Graderingen å bågarne är för öfrigt sådan, att den direkt angifver, huru mycket stängerna *d*, *d* höjas eller sänkas, och hvarje skaldel, som upptager omkring 0,5 linies längd, motsvarar en rörelse hos ifrågavarande stänger af 0,1 linie. På det stängerna *d*, *d* må kunna röra sig ledigt upp och ned, åstadkommes tätning kring desamma icke genom packdosor, utan genom att öfver desamma och ändarne af rören *e*, *e* binda mycket tunna kautschuk-rör.

Korrektion af den uppmätta elastiska förlängningen.

Storleken af det fel, som en mindre krökning af stången förorsakar, kan med tillräcklig noggrannhet beräknas sålunda.

Vi hafva förut (sidan 34) sett, att man med den anordning, vi vid våra försök begagnat, erhåller den verkliga längden af den, emellan skalornas fästpunkter liggande, ursprungligen 5 fot långa delen utaf en något litet krökt, 4 linier tjock stång, om man till den i linier uppmätta längden adderar en qvantitet, som är $= 0{,}0576 h \sin \alpha + 0{,}004\, h^2$. I detta uttryck betecknar, såsom förut, h höjden eller sagittan till den båge, som den emellan de begge ändritserna liggande delen af stångens kärnlinie bildar, samt α den vinkel, som kärnliniens plan gör med horizonten.

Med vår nyss beskrifna tillställning kunna vi nu iakttaga, huru på stångens midt läget af kärnlinien förändras i förhållande till 2:ne emot hvarandra vinkelräta axlar, hvilka ligga i ett emot stången genom dess midt vinkelrätt draget plan och med horizonten hvardera göra en vinkel af 45 grader samt skära hvarandra på den räta linie, som sammanbinder kärnlinierna till de små messingslagren *a*, *a*, eller med andra ord på profstångens kärnlinie, då

denna är fullkomligt rak. I fig. 4 å pl. IV, som framställer nämnda axlars plan, äro axlarne betecknade med X och Y. B är midten af stångens kärnlinie, A projektionen af de punkter å den böjda kärnlinien, som, då stången är rak, ligga vertikalt under skalornas nollstreck eller fästpunkter, och O af messingslagrens a, a kärnlinie. Då stången, såsom vi antagit, är krökt efter en cirkelbåge, hvilken motsvarar en ganska liten vinkel, och ursprungliga afståndet emellan skalornas nollstreck är 500 linier, samt nämnda nollstreck sitta omkring 10 linier utanför midten af de korta ansatsrören. b, b, i hvilka lagren a, a hvila, så är AB eller kärnliniens båghöjd (h) approximativt $= \mathrm{BO}\left(\frac{500}{480}\right)^2 = 1{,}085$ BO. Om med x_0 och y_0 betecknas koordinaterna till punkten B, hänförda till axlarne X och Y, så, enär $\mathrm{BO} \,.\, \sin\alpha = \mathrm{BC} = \mathrm{DE} + \mathrm{BF} = \frac{x_0 + y_0}{\sqrt{2}}$, få vi $h \sin\alpha = \frac{1{,}085}{\sqrt{2}}(x_0 + y_0)$. Vidare är $h^2 = (1{,}085)^2 \,.\, \overline{\mathrm{BO}}^2 = 1{,}177\ (x_0^2 + y_0^2)$. Insättas nu dessa värden i det förut funna uttrycket å skillnaden emellan stångens verkliga och uppmätta längd, samt den förra betecknas med L och den sednare med l_0, erhålles:

$$\mathrm{L} - l_0 = \frac{0{,}0576 \,.\, 1{,}085}{\sqrt{2}}(x_0 + y_0) + 1{,}177 \,.\, 0{,}004\ (x_0^2 + y_0^2),$$

och $\mathrm{L} = l_0 + 0{,}0442\ (x_0 + y_0) + 0{,}0047\ (x_0^2 + y_0^2)$.

Vid en ny mätning under andra förhållanden, då, till följd af dessa, stångens krökning är olika, finna vi på lika sätt, då med L′ betecknas stångens verkliga och l_1 dess uppmätta längd, samt med x_1 och y_1 de nya koordinanterna till kärnliniens midt, $\mathrm{L}' = l_1 + 0{,}0442\ (x_1 + y_1) + 0{,}0047\ (x_1^2 + y_1^2)$. För elasticitetsmodulens bestämmande behöfva vi endast känna skillnaden emellan stångens verkliga längd i

begge fallen, och denna är alltså $L'-L=l_1-l_0+0{,}0442\,(x_1+y_1-x_0-y_0)+0{,}0047\,(x_1^2+y_1^2-x_0^2-y_0^2)$.

Då gradbågarne från början i allmänhet måste inställas godtyckligt, så att visarne f, f stå åtminstone i det närmaste på noll, ehuru stången då icke är fullkomligt rak, så kunna vi medelst visarne icke få veta absoluta storleken af koordinaterna, utan endast skillnaderna dem emellan, eller x_1-x_0, y_1-y_0 o. s. v. Om man likväl vid stångens uppmätning har densamma spänd med en måttlig, behörigen afpassad belastning, böra koordinaterna alltid vara mycket små (de hafva vid våra försök högst sällan uppgått till mer än 0,3 linie), och andra termen, innehållande skillnaden emellan koordinaternas qvadrater, kan då bortkastas, hvarefter $L'-L=l_1-l_0+0{,}0442\,(x_1+y_1-x_0-y_0)$.*)

Är stångens temperatur icke vid begge mätningarne densamma, måste äfven för denna en korrektion göras. Om temperaturerna vid uppmätningen af l_1 och l_0 betecknas med t_1 och t_0, samt utvidgningskoefficienten med δ, erhålla vi den så väl med hänsyn till olika krökningar som temperaturförändringar korrigerade skillnaden emellan stångens verkliga längd i begge fallen:

$$L'-L=l_1-l_0+0{,}0442\,(x_1+y_1-x_0-y_0)-500\,.\,\delta(t_1-t_0).$$

Vid begagnandet af denna formel, som gifver $L'-L$ uttryckt i linier, måste äfven l_1, l_0, x_1, y_1, x_0 och y_0 vara uttryckta i linier. Som vi likväl vid våra mätningar erhållit l_1 och l_0 i skaldelar, samt

---

*) Vid härledningen af denna formel har blifvit förutsatt, att stängerna äro krökta efter cirkelbågar, hvilket i allmänhet icke kan antagas om de i tab. VIII upptagna, på midteldelen affilade. Likväl hafva vi tillämpat formeln äfven på dessa, men åt deras rätta insättning i pressen egnat den största uppmärksamhet, på det förändringarne af krökningen måtte blifva så små som möjligt.

vi funnit det beqvämast att anteckna visarnes f, f angifvelser i tiondedels linier, hafva vi, för att underlätta våra beräkningar, förvandlat sistnämnde formel uti följande: $L' - L = l_1 - l_0 + 0{,}064\,(x_1 + y_1 - x_0 - y_0) - 7248\,\delta\,(t_1 - t_0)$, hvilken gifver $L' - L$ i skaldelar, då för $l_1 - l_0$ insättes skillnaden emellan de uppmätta längderna i skaldelar, och för x_1, y_1, x_0 och y_0 visarnes f, f angifvelser i grader å bågarne h, h, d. v, s. i tiondedels linier, och då tillika iakttages, att x_1, y_1, x_0 och y_0 tagas positiva, när visarne stå öfver nollstrecket, samt negativa, när de stå under detsamma. Om dilationskoeffienten δ vid vanlig temperatur för jern antages = 0,0000118 och för stål = 0,00001079, blir dervid för det förra materialet:

$$L' - L = l_1 - l_0 + 0{,}064\,(x_1 + y_1 - x_0 - y_0) - 0{,}085\,(t_1 - t_0)$$

och för det sednare:

$$L' - L = l_1 - l_0 + 0{,}064\,(x_1 + y_1 - x_0 - y_0) - 0{,}078\,(t_1 - t_0).$$

Genomskärningsareans mätning. Näst de fel, som kunna härröra från en origtig bestämning af den elastiska förlängningens storlek, har man att frukta för dem, som kunna begås vid mätningen af stångens genomskärningsarea; ty vid mätningen af de spännande krafterna och af stångens längd böra felen ej uppgå till mer, än en ringa bråkdel af 1 procent. För ifrågavarande undersökningar har jag derföre dels användt samma stänger, som jag begagnat för att utröna, i hvad mån elasticitetsgränsens läge är beroende af temperaturen, och hvilka varit med stor noggrannhet filade fyrkantiga på en längd af omkring 4,5 fot å midten, dels ock låtit noga jemnfila åtskilliga fyrkantiga stänger, af hvilka jag sedermera användt några äfven vid böjningsförsök. Jag har ock bestämt elasticitetsmodulen hos några runda stänger, å hvilka jag dock endast låtit genom filning borttaga glödspån och alla större ojemnheter, enär jag funnit, att särskilda mätningar af arean derefter nästan

aldrig afvikit från hvarandra med mera än 1 %, och arean af dylika stänger i alla händelser icke kan så noga mätas som af fyrkantiga. Vi skola dessutom snart få se, att elasticitetsmodulen hos en och samma stång kan variera med flera procent allt efter den olika mekaniska behandling, man före försöket låter stången undergå. Arean har alltid vid dessa undersökningar blifvit mätt på hvarje half fot medelst den förut omnämnda mikrometer-skrufklofven, och nödiga korrektioner blifvit gjorda för gängornas olikhet på särskilda ställen af skrufven. Samma skrufklofve har äfven vid profstängernas jemnfilning blifvit begagnad, för att kontrollera dimensionernas jemnhet.

Sannolika fel hos de erhållna värdena å elasticitetsmodulen.

Oaktadt vi sålunda bemödat oss om den största noggrannhet, som med vår tillställning kunnat vinnas, är det likväl *tänkbart*, att de erhållna värdena å elasticitetsmodulen kunna, åtminstone för mjukt jern, vara felaktiga på ett par procent; men, som de äro medeltal, beräknade efter minst 3:ne och stundom ända till 10 försöksserier, och vi vid hvarje längdmätning gjort minst 2:ne mikroskop-inställningar samt afläsningar, äro de *sannolika* felen mycket mindre, och de fel, med hvilka våra bestämningar kunna vara behäftade, äro i alla händelser icke för praktiska ändamål af någon vigt *).

---

*) Enär Wertheim till sina försök använde trådar, hvilka, så vidt finnes uppgifvet, endast hade 0,1 till 0,5 linies diameter, var han visserligen föga utsatt för fel till följd af deras krökningar; men han kunde deremot icke med noggrannhet mäta deras genomskärningsarea, utan måste uträkna medelarean med ledning af egentliga vigten. Som dessutom trådarne endast voro omkring 2,5 fot långa emellan de punkter, emellan hvilka den elastiska förlängningen mättes, samt mätningen af denna skedde medelst katetometer, afvika de af honom på grund af sträckförsöken för samma jern- eller ståltråd beräknade värdena å

För att närmare visa, dels huru vi vid dessa försök gått tillväga, dels hvilken grad af öfverensstämmelse egt rum emellan de särskilda observationerna, få vi här meddela dem för stängerna N:o 2 och 10 i tab. IX.

Exempel å bestämning af elasticitetsmodulen.

---

elasticitetsmodulen från hvarandra ej sällan med 10 procent och deröfver.

Elasticitetsmodulen kan visserligen genom böjning med vida större noggrannhet bestämmas än genom sträckning, enär böjningens storlek kan blifva mångdubbelt större, än den elastiska förlängningen vid sträckning, samt följaktligen noggrannare mätas; men vid antagandet, att det värde på modulen, som derigenom erhålles, är ett exakt mått på elastiska kraften vid sträckning, förutsättes i sjelfva verket, dels att denna kraft skall vara lika med den elastiska kraften vid sammantryckning, då deremot enligt Hodgkinson den sednare för jern är endast omkring $^5/_6$ af den förra, dels ock, att icke genom den olika spänningen i de särskilda lagren och den förändring af genomskärningsareans form, som vid böjning eger rum, andra krafter tillkomma, eller förhållanderna i öfrigt förändras på ett sätt, att beräkningen, såsom några författare påstått, åtminstone på grund af de vanliga formlerna, blir osäker. Wertheim erhöll i ett fall för ståltråd medelst transversala svängningar elasticitetsmodulen öfver 20 proc. större, än medelst sträckning. Kuppfers bestämningar af elasticitetsmodulen genom böjning och transversala svängningar öfverensstämma, såsom äfven är att vänta, ganska väl *sinsemellan;* men ehuru vid hans böjningsförsök böjningens storlek med stor skärpa bestämdes genom att på profstängernas ändar fästa speglar och mäta den lutning, dessa speglar vid stängernas olika lägen intogo, *kunna* likväl äfven hans resultater vara behäftade med fel uppgående åtminstone till $1\frac{1}{2}$ procent, enär hans profstänger hade en tjocklek af endast 0,8 till 1,7 linie. Tjockleken ingår nemligen med 3:dje digniteten i formeln för elasticitetsmodulens beräkning af böjning, och redan ett mätningsfel af 0,005 linie, hvilket för de tunnare stängerna är mer än $\frac{1}{2}$ procent af deras tjocklek, medförer hos modulen ett fel af mer än $1\frac{1}{2}$ procent. Att äfven så stora mätningsfel blifvit begångna, kan man finna genom att jemföra den uppmätta tjockleken med den på grund af egentliga vigten beräknade.

Genom att å 11, på 0,5 fots afstånd från hvarandra uppdragna, fina ritser medelst vårt skrufmått mäta genomskärningens dimensioner i 2:ne emot hvarandra vinkelräta rigtningar, hafva vi för desamma erhållit följande värden, uttryckta i hvarf å skrufmåttet.

	Stången N:o 2. Genomskärningen rektangulär. Ena sidan		Andra sidan.	Stången N:o 10. Genomskärningen rund. Ena diametern.		Andra diametern.
	8,06	—	8,24	12,96	—	12,65
	8,04	—	8,23	12,90	—	12,60
	8,07	—	8,22	12,94	—	12,61
	8,08	—	8,23	12,94	—	12,69
	8,07	—	8,22	12,97	—	12,60
	8,09	—	8,22	12,94	—	12.63
	8,07	—	8,22	12,80	—	12,60
	8,08	—	8,23	12,98	—	12,62
	8,06	—	8,22	12,95	—	12,65
	8,08	—	8,22	12,85	—	12,66
	8,06	—	8,22	12,85	—	12,60
Med =	8,069	—	8,2245	12,916	—	12,628

Enär det genom särskild undersökning utrönta reduktionstalet, som i hvardera af förevarande fall bör begagnas för att till linier förvandla de erhållna måtten, är 0,33652 för stången N:o 2, och 0,33719 för N:o 10, blir arean af den förra stångens genomskärning = 7,515 qv.-linier, samt af den sednares, som kan antagas vara elliptisk, = 14,565.

Vid 2:ne nya mätningar af sistnämnda stång i andra rigtningar, i hvilka de emot hvarandra vinkelräta diametrarne voro mindre olika, erhölls arean den ena gången = 14,529, samt den andra = 14,434, och hafva vi derföre för denna stång antagit medelarean = 14,509.

Då ifrågavarande stänger flera gånger sträcktes, N:o 2 först med 50 skålp. på vinkelhäfstångens skål samt derefter med vinkelhäfstången ensam, sedan denna, medelst en öfver densamma anbragt vågbalans, blifvit motvägd med 50 skålp., och N:o 10 först med 60 skålp. på vinkelhäfstångens skål och derefter med vinkelhäfstången ensam, erhöllos följande resultater.

Stångens nummer.	Temperaturen omkring stången			Visarnes *ff* angifvelser		Total belastning på balansens långa häfstångsarm.	Mätskalans ställning *).		Den *uppmätta* skillnaden emellan förlängningarne $= l_1 - l_0$.	Den *korrigerade* skillnaden emellan förlängningarne $= L' - L$.
	vid ena ändan.	på midten.	vid andra ändan.	x	y					
	Gr. Cels	Gr. Cels.	Gr. Cels	$\frac{1}{10}$ linier.	$\frac{1}{10}$ linier.	℔		Medeltal.	Skaldelar	Skaldelar.
N:o 2, tab. IX	13,2	13,3	13,4	+ 0,1	+ 0,1	203,48	104,317 104,327	104,322	7,002	6,8937
D:o	13,2	13,4	13,4	+ 1,2	+ 1,2	47,51	97,317 97,323	97,320		
D:o	13,2	13,4	13,4	+ 0,1	+ 0,1	203,48	104,353 104,347	104,350	7,018	6,9026
D:o	13,2	13,4	13,5	+ 1,3	+ 1,2	47,51	97,337 97,327	97,332		
D:o	13,3	13,5	13,5	+ 0,1	+ 0,2	203,48	104,363 104,360	104,3615	7,010	6,8978
D:o	13,3	13,5	13,5	+ 1,2	+ 1,3	47,51	97,350 97,353	97,3515		
D:o	13,3	13,5	13,5	+ 0,1	+ 0,1	203,48	104,350 104,357	104,3535	6,9885	6,8712
D:o	13,3	13,5	13,5	+ 1,2	+ 1,3	47,51	97,370 97,360	97,365		
D:o	13,3	13,5	13,6	0	+ 0,1	203,48	104,347 104,367	104,357	6,9955	6,8782
D:o	13,3	13,5	13,6	+ 1,2	+ 1,2	47,51	97,360 97,363	97,3615		

N:o 10, tab. IX	11,3	11,8	12	0	0	213,48	30,740 30,737	30,738	2,516	2,488
D:o	11,5	11,9	12,1	— 0,4	+ 1,0	97,51	28,217 28.227	28,222		
D:o	11,7	12	12,2	+ 0,2	+ 0.6	213,48	30,753 30,773	30,763	2,497	2.505
D:o	11,8	12	12,2	— 0,4	+ 1,1	97,51	28,260 28,273	28,266		
D:o	11,9	12,1	12,3	+ 0,2	+ 0,9	213,48	30,813 30 830	30,821	2,493	2.503
D:o	12	12.1	12,4	— 0,3	+ 1,3	97,51	28,327 28,330	28,328		
D:o	12,1	12,2	12,5	+ 0,6	+ 0,9	213,48	30,870 30,873	30,871	2,508	2,493
D:o	12,2	12,2	12,6	— 0,3	+ 1,5	97,51	28,366 28,360	30,363		

Medeltal = 2,4972

*) Det är naturligtvis likgiltigt, hvilket delningsstreck å mätskalan från början inträffar under motsvarande mikroskops hårkors, allenast skalornas fästpunkter sitta på behörigt afstånd, d. v. s. noga 5 fot från hvarandra.

Då stången N:o 2 var omkring 2,7 linier tjock, och skalornas planer lågo endast 2,88 linier öfver stångens kärnlinie, blir formeln, medelst hvilken de uppmätta skillnaderna emellan förlängningarne böra korrigeras:

$$L'-L = l_1 - l_0 + 0{,}051\,(x_1 + y_1 - x_0 - y_0) - 0{,}078\,(t_1 - t_0).$$

På N:o 10 åter lågo skalornas planer, såsom i allmänhet vid våra försök varit händelsen, omkring 3,6 linier öfver stångens kärnlinie, och för denna stång, blir följaktligen korrektionsformeln den förut uppgifna:

$$L'-L = l_1 - l_0 + 0{,}064\,(x_1 + y_1 - x_0 - y_0) - 0{,}085\,(t_1 - t_0).$$

Vid bestämmandet af skillnaden emellan en stångs medeltemperatur, $t_1 - t_0$, vid 2:ne successiva sträckningar, hafva vi alltid af lätt insedda skäl låtit den medlersta termometerns angifvelser gälla dubbelt så mycket som de båda öfrigas.

Tillämpa vi nu vår korrektionsformel t. ex. på den uppmätta skillnaden emellan förlängningarne hos stången N:o 2, vid de 2:ne i förestående tabell först upptagna sträckningarne, hafva vi: $l_1 - l_0 = 7{,}002$, $x_1 + y_1 - x_0 - y_0 = +0{,}1 + 0{,}1 - 1{,}2 - 1{,}2 = -2{,}2$, och $t_1 - t_0 = \frac{0{,}1\,.\,2}{4} = -0{,}05$, hvilka värden, insatta i formeln, gifva: $L'-L = 7{,}002 - 0{,}051\,.\,2{,}2 + 0{,}078\,.\,0{,}05 = 6{,}8937$.

Då de sålunda erhållna medelvärdena å $L'-L$ insättas i formeln för elasticitetsmodulen, blir, för stål-stången N:o 2, $E = \frac{155{,}97\,.\,20{,}084\,.\,500}{6{,}8887\,.\,0{,}00898\,.\,7{,}515} = 438630$, eller i rundt tal $= 439000$, samt på lika sätt, för jernstången N:o 10, $E = 466000$.

Vid beräkning af elasticitetsmodulen hos de stänger, N:ris 3, 8, 9, 14, 16 och 17 i tab. IX. som på midten blifvit affilade, blir vår formel ändrad till $E = \frac{P'-P}{L'-L}\left(\frac{l}{a} + \frac{l'}{a'} + \frac{l''}{a''}\right)$, i hvilken P,



P′, L och L′ hafva samma betydelse som förut, men l utmärker längden och a medelarean af den medlersta affilade delen, samt l' och l'' längderna och a' och a'' medelareorna af de korta, icke affilade delarna.

En omständighet, hvaråt vid dylika undersökningar stor uppmärksamhet bör egnas, är elasticitetsmodulens förminskning, sedan materialet erhållit en permanent förlängning. Orsaker, genom hvilka elasticitetsmodulen förändras.

Ehuru elasticitetsmodulen i allmänhet aftager med egentliga vigten, och denna vanligen minskas genom försträckning, kan nämnda modulens förminskning, som vi funnit någongång stiga till omkring 10 %, icke tillfredsställande förklaras endast genom egentliga vigtens aftagande; ty den visar sig vanligen störst hos stål, hvars eg. vigt, såsom af tab. VII inhemtas, ganska litet minskas genom försträckning, och den är dessutom till en del öfvergående. Bestämmer man nemligen modulen hos en stång *genast* efter det denna erhållit en permanent förlängning, uppgående t. ex. till omkring 0,5 %, och låter sedan stången hvila några dagar, finner man vanligen vid förnyad undersökning, att stången återvunnit en del af den elastiska kraft, som den genom försträckningen förlorat, och denna återvinning påskyndas alltid i hög grad genom uppvärmning. Bland de många försök, vid hvilka vi haft tillfälle iakttaga detta förhållande, vilja vi blott anföra dem, som vi anställt med stålstången N:o 3 i tab. IX, sedan denna blifvit svagt rödglödgad, och dess medlersta del derefter genom filning ytterligare afjemnad. Dess dimensioner voro nu, om de i sist anförda formel för E använda beteckningar bibehållas: $l = 468{,}4$ linier, $l' = 17{,}6$ linier, $l'' = 14{,}0$ linier, $a = 7{,}609$ qv.-linier, $a' = 10{,}746$ qv.-linier och $a'' = 12{,}494$ qv.-linier. Då stången vid $+15^0$ successivt sträcktes

med 170 ℔ på vinkelhäfstångens skål och med samma häfstång allena, blefvo de behörigen korrigerade skillnaderna emellan de elastiska förlängningarne eller L′—L:

	Skaldelar.	Medeltal.
	= 9,195	
	9,238	9,215.
	9,213	
Efter en permanent förlängning hos den affilade delen af 0,72 %, visade sig vid samma temperatur och samma belastningar L′—L =	10,267	
	10,240	10,256,
	10,260	
samt, sedan stången blifvit uppvärmd omkring 1 timme i ett paraffinbad af 130° och fått långsamt kallna till + 19°, ...	= 9,427	
	9,415	9,411.
	9,390	

Då elastiska kraften hos stångens runda delar under alla försöken bör hafva förblifvit densamma, enär dessa delar icke erhållit någon permanent förlängning, och en uppvärmning till 130—150 gr., såsom många särskilda försök ådagalagt, icke märkbart förändrar modulen hos ett material, som icke blifvit försträckt, finner man, att skillnaden emellan de elastiska förlängningarne hos stångens fyrkantiga del i medeltal varit:

före försträckningen	8,8198	skaldelar,
efter d:o	9,8608	d:o,
samt efter uppvärmningen......	9,0158	d:o.

Beräknar man nu på grund häraf elasticitetsmodulens storlek hos denna del af stången under förenämnda olika förhållanden samt dervid förutsätter, att genom den före andra försöksserien skedda

permanenta förlängningen af 3,44 linier, arean blifvit förminskad till $\frac{468,4}{471,84} \cdot 7,609$, hvilket för stål så mycket heldre kan antagas, som dess egentliga vigt, såsom nyss nämndes, ganska litet förändras genom försträckning, finnes nämnda modul hafva varit:

före försträckningen .... 459200 ℔,
efter d:o .... 416800 »
och efter uppvärmningen .... 455800 »

Elastiska kraften hos materialet hade alltså genom försträckningen minskats med 9,24 %; men af dessa 9,24 % hade 8,53 återvunnits genom uppvärmningen. Då stången ännu en gång uppvärmdes i paraffinbad vid 132° ungefär 1 timme och efter afsvalning ånyo undersöktes, visade sig modulen vara densamma, som den var före denna sednare uppvärmning,

Som vi, när vi började våra försök, icke hade någon anledning antaga, att elastiska kraften genom en obetydlig permanent förlängning skulle undergå någon mätbar förändring, och ännu mindre, att sedan en stång erhållit en försträckning, elasticitetsmodulen icke skulle, då stången lemnades ostörd, förblifva oförändrad, gåfvo vi, innan vi sträckte stången, för att utröna elasticitetsmodulen, den med flit en liten permanent förlängning, dels för att uträta mindre krökar, dels ock för att vid modulens bestämning kunna använda större belastningar samt följaktligen erhålla större och lättare mätbara elastiska förlängningar. Sedan vi kommit i tillfälle iakttaga det inflytande, som äfven en mindre försträckning utöfvar på modulens storlek, hafva vi deremot aldrig förut spännt en stång med högre belastning, än den vi för modulens bestämning velat använda. Små, mätbara, permanenta förläng-

ningar hafva dock oftast ej kunnat undvikas, och, då äfven sådana synas icke vara utan allt inflytande på modulens storlek, hafva de i tab. IX blifvit upptagna.

Den förlust af elastisk kraft, som genom försträckning förorsakats, kan, på sätt redan är antydt, till största delen återställas genom lindrig uppvärmning, och om uppvärmningen stegras till glödgning, kan elasticitetsmodulen genom densamma till och med blifva större, än den var före försträckningen*), såsom man ser, att förhållandet varit med stängerna N:ris 2, 3, 4, 7, 13, 16 och 18 i tab. IX, hvilka alla före glödgningen varit använda till andra försök och derunder blifvit mer eller mindre sträckta utöfver sin elasticitetsgräns. Man synes häraf kunna sluta, att icke blott försträckning, utan äfven smidning, valsning eller annan våldsam mekanisk behandling, så framt den icke utföres vid mycket hög temperatur, minskar elasticitetsmodulen hos stål och jern.

Af sistnämnda tabell ser man för öfrigt: att elasticitetsmodulen i allmänhet växer med egentliga vigten, med hvilken äfven redan Lagerhjelm antydt dess samband; att den icke är mycket olika för särskilda slag af stål, eller för stål och jern med samma egentliga vigt, och att kolhalten alltså icke har något synnerligt inflytande på modulen; men att modulens storlek deremot synes vara i icke ringa mån beroende af fosforhalten. Den minsta elasticitetsmodulen hafva vi nemligen funnit hos det fosfor-

*) Både Coulomb och Tredgold förneka, att glödgning har något inflytande på elasticitetsmodulens storlek, och de grunda detta påstående på några af dem anställda böjningsförsök; men deras mätning af böjningens storlek synes icke varit nog skarp, för att iakttaga en så liten olikhet deri, som här är i fråga.

rika jernet från Åryd, ehuru dettas egentliga vigt är ungefär lika stor som den hos de bättre sorterna af undersökt puddeljern.

Rörande inflytandet af härdning på elasticitetsmodulen vid sträckning hafva vi ej kunnat anställa några försök, enär af de stålsorter, å hvilka vi haft tillgång, det icke lyckats oss att härda någon stång af erforderlig längd, utan att den blifvit alltför krokig, för att till en dylik undersökning kunna användas. Vi hafva derföre måst inskränka oss till att undersöka härdningens verkan på elastiska kraften vid böjning, hvilken äfven i praktiskt hänseende är af större vigt, och återkomma till detta ämne vid beskrifningen öfver böjningsförsöken.

Efter denna redogörelse för våra vid vanlig temperatur anställda sträckförsök, torde vi slutligen få i korthet sammanfatta de resultater, till hvilka vi genom desamma anse oss hafva kommit. **Sammanfattning af resultaterna.**

Dessa, som till en del endast bekräfta förut af andra gjorda iakttagelser, äro följande.

1:o. *Elasticitetsgränsen, sådan denna vanligen uppfattas eller af Wertheim m. fl. blifvit definierad, kan så mycket mindre tjena till ledning vid bedömandet af metallers olika elastiska egenskaper, som den icke kan med behörig noggrannhet bestämmas, hvaremot ett lätt bestämbart mått å den gräns, vid hvilken i praktiskt hänseende afsevärd permanent förlängning hos stål och jern först inträder, erhålles, om man definierar deras elasticitetsgräns på det sätt, som å sid. 42 skett.*

2:o. *Storleken af de genom sträckning af stål eller jern åstadkomna permanenta förlängningarne är beroende ej blott af materialets kemiska sammansättning, den behandling detta undergått och genomskärningens jemnhet, utan ock af sträckningssättet. Dessa förlängningar växa i allmänhet hastigare, än belast-*

ningarnes öfverskott öfver dem vid elasticitetsgränsen, men approximativt kunna de antagas vara emot nämnda öfverskott proportionella.

3:o. *Elasticitetsgränsen, absoluta styrkan och tänjbarheten äro, så väl hos jern, som hos stål, i hög grad beroende af den mekaniska behandling, nämnda ämnen undergått, och den temperatur, för hvilken de dervid eller sedermera varit utsatta. Genom kallhamring, kallvalsning eller andra vid låg temperatur använda mekaniska medel höjes elasticitetsgränsen och absoluta styrkan; men genom samma medel minskas deremot tänjbarheten. Glödgning utöfvar i dessa hänseenden en motsatt verkan.*

4:o. *När kolhalten hos jern eller stål ökas, höjes under i öfrigt lika förhållanden till en viss grad så väl elasticitetsgränsen, som absoluta styrkan, hvaremot tänjbarheten minskas. Absoluta styrkan, som hos godartadt, mjukt jern i rundt tal kan antagas till 700 ℔ på qv.-linien, synes uppnå ett maximum hos stål med omkring* 1,2 % *kol och är då hos godt gjutstål eller Bessemer-stål omkring 2000 ℔ på qv.linien.*

5:o. *En ringa halt af fosfor höjer i allmänhet jerns elasticitetsgräns och absoluta styrka, samt i följd deraf dess hårdhet, men minskar dess tänjbarhet, så framt ej jernet räckes så mycket, att det vid långsamt skeende afslitning visar en tågig brottyta.*

Genom inblandning af slagg, som alltid gör jern otätt och försvårar dess omformning i värme men underlättar bildningen af tågig textur, synes dock jern med omkring 0,25 % *fosfor kunna erhålla nästan samma tänjbarhet som jern, hvilket håller blott spår af fosfor, och slaggen synes äfven motverka jernets benägenhet att vid stark upphettning blifva kristalliniskt samt i följd deraf kallbräckt.*

6:o. *Genom glödgning och hastig afkylning (härdning) höjes elasticitetsgränsen och minskas tänjbarheten ej blott hos stål, utan äfven hos jern. Ab-*

soluta styrkan ökas jemväl genom härdning, derest denna utföres på ett efter materialets beskaffenhet lämpadt sätt. Härdning i vatten utan någon derefter skeende lindrig uppvärmning (tempering, anlöpning) minskar i allmänhet högst betydligt styrkan hos hårdt stål, hvaremot härdning i olja icke medförer denna olägenhet, så framt ej hettan vid den härdningen föregående glödgningen varit alltför stark.

7:o. *Den elastiska kraft, som jern och stål utveckla vid sträckning, är för ett och samma material icke alltid lika stor, utan beroende af det sätt, på hvilket materialet blifvit behandladt. Sålunda kan densamma genom mekaniska medel, såsom sträckning, hamring m. fl. minskas och genom lindrig uppvärmning eller ännu mera genom glödgning ökas. Den är för öfrigt icke mycket olika för särskilda slag af stål, eller för stål och godt jern, men aftager i allmänhet med egentliga vigten. Måttet å samma kraft, eller elasticitetsmodulen, torde för valsade eller smidda stänger, som hafva en egentlig vigt af omkring* 7,80 *och hålla blott spår af fosfor, kunna i rundt tal uppskattas till 450000* ℔ *på qv.-linien, men för jernstänger, i hvilka materialet är mycket kallbräckt eller förorenadt af mycken slagg, till blott omkring 400000* ℔ *på qv.-linien Hos Bessemer-jern med en eg. vigt af* 7,88 *kan elasticitetsmodulen deremot stiga till omkring 500000* ℔ *på qv.-linien.*

Tillämpningar af försöksresultaten vid bestämmandet af företrädet emellan stål och jern samt olika slag deraf för olika ändamål.

Då till följd af ståls betydligt större styrka och högre belägna elasticitetsgräns, dimensionerna å deraf tillverkade artiklar kunna vara mindre, än när jern begagnas, erbjuder användningen af stål i synnerhet en stor fördel framför jern till så- **Ståls företräde framför jern till föremål, som böra vara starka och lätta.**

dana föremål, som böra vara så lätta som möjligt, såsom till de flesta rörliga maskindelar, till fartyg, all rörlig jernvägsmateriel m. m. Ståls användning till dessa ändamål blir också med hvarje dag mera allmän, och i England byggas nu, isynnerhet å de stora skeppsvarfven i Liverpool, så väl ång- som segelfartyg i mycket stor skala helt och hållet eller till större delen af stål. Ett sådant stålfartyg uppgifves vara så betydligt lättare, än ett jernfartyg af samma storlek och styrka, att det kan draga 25 proc. större last, och har dessutom fördelen att, såsom mindre djupgående, ofta kunna anlöpa hamnar och gå farleder, som för jernfartyget, då detta har samma last, äro otillgängliga. Till broar med stor spännvidd är lättheten så mycket vigtigare, som materialet der tages vida mera i anspråk för att bära brons egen vigt, än de högsta tillfälliga belastningar, som bron måste kunna bära. Derföre har man nyligen i Holland byggt broar af ett så dyrt material som gjutstål, och äfven i vårt land har nästlidet år en jernvägsbro blifvit konstruerad af puddelstål från Surahammar, nemligen den öfver Göta-elf å jernvägen emellan Wenersborg och Herrljunga. Som emellertid elasticitetsmodulen för stål och godt jern är nära lika, är det naturligt, att en stålbro, till följd af de finare dimensionerna af dessa särskilda delar, måste för samma last svigta mera, än en jernbro af samma konstruktion och styrka, och att, om man vill förekomma detta, konstruktionen måste med afseende härå förändras.

Ståls företräde framför jern till föremål, som jemte styrka böra ega förmåga att emotstå nötning.

Att stål och isynnerhet gjutstål, som med hårdhet och styrka förenar en hög grad af jemnhet, bör föredragas framför jern till alla föremål, af hvilka jemte styrka erfordras förmåga att emotstå nötning, såsom till jernvägsskenor, axlar och hjulband å jernvägsvagnar, pistonstänger och andra maskindelar, har länge varit erkändt, och endast gjutstålets höga

pris har hittills varit det väsendtligaste hindret emot dess allmänna begagnande för dylika behof. Genom upptäckten af Bessemer-processen och genom de framsteg, denna de sednaste åren gjort, torde dock nämnde hinder till en stor del nu vara undanröjdt. Bessemer-stål har också redan erhållit en vidsträckt användning till jernvägsskenor å bangårdar och spårvexlingar, i starka kurvor och lutningar, eller i allmänhet till skenor, som nedläggas på ställen, der slitningen är mycket stor. Enligt försök, som i England blifvit anställda å bangården vid Camden, hvarest trafiken är så stor, att vanliga Engelska jernskenor stundom måste utbytas efter några månader, skulle skenor af Bessemer-stål kunna ega nära 20 gånger större uthållighet än de vanliga, ehuru fabrikanterna af de förra lära garantera endast en 6-faldig uthållighet. Om man af trafikens storlek kan beräkna slitningstiden för vanliga skenor, är det således lätt, att någorlunda tillförlitligen bedöma, när det kan blifva med ekonomisk fördel förenligt att använda Bessemer-skenor, oaktadt dessas mer än dubbelt högre pris. Man tillverkar numera äfven i stor skala jernvägsskenor, som blott hafva öfra delen (hufvudet) af Bessemer-stål, men för öfrigt bestå af jern. Dessa blifva naturligtvis mycket billigare, men torde vara svåra att väl hopvälla och hafva sannolikt icke samma uthållighet som skenor, hvilka helt och hållet bestå af Bessemer-stål.

Axlar och hjulband till jernvägsvagnar tillverkas också redan i stor skala, och äfven i vårt land, af Bessemer-stål. Åsigterna rörande sådant ståls lämplighet till dessa ändamål äro dock icke ännu lika enhälliga, som i fråga om dess stora företräde till jernvägsskenor, hvilket sannolikt endast härrör deraf, att fabrikanterna till en början i allmänna rörelsen utsändt effekter, i hvilka materia-

let dels måhända icke varit fritt från sprickor, dels ock varit för hårdt, så att det saknat tillräcklig tänjbarhet,

Vigten af tänjbarhet vid maskin- och byggnadskonstruktioner.

En viss grad af tänjbarhet hos materialet är nemligen icke blott för sistberörda effekter, utan vid de flesta andra maskin- och byggnadskonstruktioner ett oeftergifligt vilkor. på det desamma, om så erfordras till följd af någon ojemnhet i sammansättningen, som ofta ej kan helt och hållet undvikas, eller vid tillfälliga starka påkänningar, må kunna antaga åtminstone smärre formförändringar, utan att brista. Vigten häraf får aldraminst förbises vid konstruktioner, bestående af en mängd särskildt bearbetade delar, såsom en jernbro eller en ångpanna, hvilka aldrig kunna så sammansättas, att påkänningen i alla dess delar från början blifver fullkomligt jemnt fördelad. Om delarne då ej äro tillräckligt tänjbara, kunna de successivt, den ena efter den andra, brista långt innan den påkänning inträdt, för hvilken bron eller ångpannan är beräknad, enär den elastiska förlängning, som de särskilda delarne kunna antaga, i sådana fall vanligen är alltför otillräcklig.

Då delarne, för att kunna sammansättas, blifvit på något ställe försvagade, vare sig derigenom, att något af materialet borttagits, såsom vid sammannitningar, eller derigenom att materialet å något ställe måst starkt upphettas, får man icke hos detsamma *i sin helhet* påräkna på långt när så stor tänjbarhet, som det vid ett afslitningsförsök visat. Känner man, huru mycket en stång eller en plåt genom areans förminskning eller genom upphettning å något ställe blifvit försvagad, samt materialets i den öfriga delen elasticitetsgräns, absoluta styrka och förlängning vid afslitning, kan man dock i hvarje fall lätt beräkna ungefärliga storleken af den för-

längning, stången eller plåten antager, innan den brister. Om t. ex. å ett stag, gjordt af ett mjukt stål, hvars elasticitetsgräns ligger vid 600 skålp. och brottbelastning vid 1000 skålp. på qv.-linien, och hvilket vid afslitning visat en förlängning af 10 procent, på något ställe antingen arean blifvit minskad med 20 procent, eller ock genom stark upphettning materialets absoluta styrka blifvit nedsatt lika mycket, så måste staget tydligen brista för 0,8 af den påkänning, som erfordras för att afslita den oförsvagade delen af stången, d. v. s. när belastningen å denna del stigit till endast 800 skålp. på qv.-linien; men då, såsom förut blifvit ådagalagdt, de permanenta förlängningarne växa någorlunda proportionelt emot belastningarnes öfverskott öfver dem vid elasticitetsgränsen, samt i allmänhet tilltaga mest i närheten af brottet, kan staget vid 800 skålpunds belastning på qv.-linien förlänga sig högst hälften så mycket, som vid en belastning af 1000 skålp. på samma area, eller med högst 5 procent af ursprungliga längden. Vore styrkan å något ställe förminskad till 60 procent af den ursprungliga, skulle staget, under de gjorda förutsättningarne rörande materialet deri, brista redan vid en påkänning af 600 skålp. på qv.-linien hos den oförsvagade delen, således redan vid dennas elasticitetsgräns, samt följaktligen, innan sistnämnda del kunde antaga någon afsevärd förlängning.

Likaså om vid sammannitning af jernplåt, hvars absoluta styrka ligger vid 700 skålp. och elasticitetsgräns vid 450 skålp. på qv.-linien, nitstället är 40 procent svagare, än den öfriga plåten, är det af föga gagn att plåten eger stor tänjbarhet; ty den brister på nitstället, när belastningen å den öfriga delen stigit till 420 skålp. på qv.-linien, och den kan då endast i sjelfva nitraden gifva något med

sig. Om plåten i stället vore af ett puddelstål, Bessemer-stål eller gjutstål, hvars brottbelastning vore 1000 och elasticitetsgräns 500 skålp. på qv.-linien, och som vid afslitning kunde förlänga sig 10 procent, men plåten icke toges mer än 0,7 så tjock, så skulle likväl, under samma förutsättning rörande nitställets styrka i förhållande till den öfriga delen, nitstället brista för samma absoluta belastning, som i förra fallet, hvilken skulle motsvara 600 skålp. på qv.-linien å den öfriga stålplåten, men denna sistnämnda förut hafva förlängt sig nära 2 procent, d. v. s. nära 2 linier per fot. Den sednare konstruktionen skulle alltså vara tillförlitligare, ehuru den fordrat 30 procent mindre material. Enär förhållandet emellan belastningarne vid brott och elasticitetsgräns hos valsadt puddelstål och annat mjukt stål i allmänhet är större än hos puddeljern, kan alltså användningen af sådant stål stundom medgifva större formförändring af en konstruktion, innan denna brister, än då mjukt jern dertill begagnas, ehuru då nämnda materialier i form af *jemna* stänger med hvarandra jemföras, stålet vanligen visar en mindre tänjbarhet.

Af hvad nu blifvit anfördt rörande olägenheten af försvagade ställen vid maskin- och byggnadskonstruktioner, inses bland annat lätt, huru fördelaktigt det är, med hänsyn ej blott till besparing af material, utan ock till konstruktionens bärsäkerhet, att till gallerverks- samt hängbroar använda bärstänger och stag med utvidgningar på de ställen, hvarest bultar eller nitar genomgå desamma *).

Vid användning af stål till föremål, i hvilka materialet, i och för den vidare bearbetningen måste

*) Huru sådana bärstänger tillverkas, beskrifves i Jernkontorets Annaler 1862, sid. 316.

delvis upphettas, bör synnerlig uppmärksamhet egnas åt den minskning af styrkan, som af upphettningen å dessa ställen blir en följd, enär denna minskning, på sätt vid afslitningsförsöken visat sig, hos stål är större än hos jern, och i samma mån större, som stålet är mera hårdt eller kolrikt.

Ståls och jerns olika motståndsförmåga emot stötar.

Några författare hafva påstått, att stål, till följd af sin större styrka, väl är tjenligare till sådana föremål, i hvilka det endast har att uthärda en lugnt verkande påkänning, men deremot är olämpligt i alla de händelser, der materialet är utsatt för stötar eller skakningar.

För att ådagalägga, i hvad mån detta påstående är grundadt, vilja vi undersöka, huru en stöt verkar, då den anbringas i längdens rigtning af en med ena ändan orubbligt fästad stång, äfvensom då den ofvanifrån i vertikal rigtning på midten träffar en med ändarne på 2:ne fasta underlag fritt hvilande stång.

Om P_1 utmärker den kraft, som, lugnt spännande en stång, förmår afslita densamma, samt a_1 storleken af stångens elastiska och b_1 af dess permanenta förlängning, när den afslites, så kan det mekaniska arbete, som erfordras för att långsamt afslita stången eller förlänga den med stycket $a_1 + b_1$, såsom lätteligen kan visas *), uttryckas med $\frac{P_1 a_1}{2} + m P_1 b_1$, då m är ett tal, som ligger emellan 0,75 och 1.

*) Om vi beteckna med p den kraft, hvarmed vid gradvis skeende sträckning stången spännes, med a och b de samma kraft motsvarande elastiska och permanenta förlängningarne, hvilka naturligtvis begge förändras med p, med P_0 den kraft, som motsvarar elasticitetsgränsen, med b_0 stångens permanenta förlängning vid denna gräns, med A stångens genomskärning, med L dess längd och med E dess elasticitetsmodul, samt P_1, a_1, b_1 och m få bibehålla samma betydelse som ofvan, så är det mekaniska arbete, som erfordras, för att afslita stången, och hvilket vi vilja beteckna

Det mekaniska arbete, som är nödvändigt för att afbryta en på 2:ne fullkomligt fasta underlag fritt hvilande stång, kan äfven, såsom anställda böjningsförsök ådagalagt, uttryckas genom samma formel, då P_1 betecknar den kraft, som anbragt på midten och lugnt verkande förmår afbryta stången,

---

med $M_1 = \int_0^{a_1} pda + \int_0^{b_1} pdb$. Elasticitetsmodulen E aftager visserligen något, såsom vi förut visat, sedan stången börjat erhålla permanenta förlängningar; men vid en approximativ beräkning, som den här är i fråga, kunna vi anse den konstant och gifva den ett medelvärde. Enär då $p = \frac{aEA}{L}$ och $a_1 = \frac{P_1 L}{EA}$, är $\int_0^{a_1} pda = \frac{EA}{L} \int_0^{a_1} ada = \frac{EA}{L} \cdot \frac{a_1^2}{2} = \frac{P_1 a_1}{2}$. Vidare är $\int_0^{b_1} pdb = \int_0^{b_0} pdb + \int_{b_0}^{b_1} pdb = \int_0^{b_0} pdb + (b_1 - b_0) P$, der P utmärker ett värde på p, hvilket ligger emellan P_0 och P_1, men, emedan de permanenta förlängningarne växa i större proportion än belastningarnes öfverskott öfver dem vid elasticitetsgränsen, alltid är större än $\frac{P_0 + P_1}{2}$. Enär för öfrigt P_0 i de aldraflesta fall är större än $\frac{P_1}{2}$, är ock P större än $0{,}75\, P_1$, och som b_0 högst sällan uppgår till mer än 0,1 procent, men oftast är mycket mindre, kan $\int_0^{b} pdb$ antagas $= mP_1 b_1$, och således blir då $M = \frac{P_1 a_1}{2} + mP_1 b_1$. Relativa storleken af det mekaniska arbete, som erfordras för att afslita stänger af olika jern- eller stålsorter med samma dimensioner, kan lättast åskådliggöras genom att grafiskt framställa de vid gradvis skeende sträckning uppkommande permanenta förlängningarne, på sätt å pl. V och VI skett. $\int_0^{b_1} pdb$, eller qvantiteten $mP_1 b_1$, motsvaras nemligen för hvar och en af der framställda stänger utaf ytan, som begränsas af stångens förlängningskurva och koordinaterna för samma kurvas slutpunkt, och qvantiteten $\frac{P_1 a_1}{2}$ skulle der kunna föreställas af

ifall materialet sådant medgifver, samt a_1 den elastiska och b_1 den permanenta böjning hos stången, som motsvarar kraften P_1. En på 2:ne underlag fritt hvilande stång af godt jern kan dock i allmänhet icke genom belastning afbrytas, och vår formel kan då endast uttrycka det mekaniska arbete, som gifver den en större eller mindre permanent böjning b_1.

Det för olika stångers *långsamt* skeende afslitning eller afbrytning erforderliga mekaniska arbete, är visserligen strängt taget icke lika med det, som är nödigt för att *mycket hastigt* afslita eller afbryta samma stänger, enär i sednare fallet, dels kraften P_1 *) möjligen kan vara något olika, dels ock de, afslitningen eller afbrytningen föregående, permanenta förlägningarne eller böjningarne i allmänhet äro något mindre **); men deremot finnes ingen

---

en rätvinklig triangel, hvars ena katet vore den P_1 motsvarande ordinatan för kurvans slutpunkt, och andra katet ett från nämnda ordinatas skärningspunkt med abskissaxeln på denna axel åt höger afsatt stycke $= \frac{100 P_1}{E}$, då hela värdet å M der vore föreställdt genom en enda sammanhängande yta.

*) Kirkaldy drager af sina försök den slutsats, att kraften, som erfordras för att mycket hastigt afslita en stång, i medeltal är föga mer än 80 procent af brottbelastningen vid långsamt skeende afslitning; men denna slutsats kan icke vara rigtig, enär han icke tager någon hänsyn dertill, att i hans sträckningsapparat lasten vid hastig afslitning måste förvärfva en viss »lefvande kraft», innan den kan helt och hållet uppbäras af profstången, och att profstången alltså äfven har att emotstå verkan af denna lefvande kraft. Wertheim uppgifver deremot, att det erfordras större kraft för att hastigt afslita en jernstång, än då afslitningen sker långsamt.

**) Storleken af den permanenta böjning, som en lugnt verkande last eller en stöt åstadkommer, innan brott inträffar, är mycket beroende af sättet, hvarpå lasten eller stöten får verka på stången. Hvarje stång låter nämligen

anledning antaga, att de på ofvan angifna sätt beräknade värdena å det i förra fallet erforderliga mekaniska arbetet, icke skola med en för praktiska ändamål tillräcklig noggrannhet uttrycka *relativa* storleken af det arbete, som erfordras, för att mycket hastigt afslita eller afbryta stänger af olika jern- eller stålsorter.

Hvarje stöt motsvaras alltid af ett visst mekaniskt arbete, och om nu en stöt anbringas antingen i längdens rigtning af en med ena ändan orubbligt fästad stång, eller på midten af en på 2:ne fasta underlag fritt hvilande stång, samt det stöten motsvarande mekaniska arbetet är större än $\frac{P_1 a_1}{2} + mP_1 b_1$, så måste stången brista *). Med kännedom om jerns och ståls egenskaper är det lätt att finna, det förenämnde uttryck kan blifva vida större för mjukt jern än för hårdt stål. För härdadt, hårdt stål är nemligen b_1 i det närmaste $= 0$, eller mycket

kröka sig efter en viss cirkelbåge, och radien till denna båge är i samma mån mindre, som materialets skufbarhet är stor. Om nu kraften verkar på midten medelst en egg eller på en mycket liten yta, blir krökningen der skarpare, och båghöjden, som den krökta stången kan antaga, innan den bräckes, mindre än om kraften verkar på en större utsträckning, och krökningen derigenom blir fördelad på en större längd. Denna omständighet får icke förbises, när jernvägsskenor, axlar och dylika effekter skola profvas med lugnt verkande belastningar eller medelst hejare.

*) Som stångens fäste eller underlag aldrig kunna vara *fullkomligt* fasta, så att de ej svigta något, upptaga dessa alltid en del af stöten, hvilken del, då fästet eller underlagen utgöras t. ex. af stora jernmassor, kan vara så liten, att den ej förtjenar afseende, men, då de svigta mycket, eller genom stöten antaga permanenta sättningar, till och med kan vara större än den, som upptages af stången. Stor uppmärksamhet måste häråt egnas bland annat vid alla profningar af jern- eller ståleffekter medelst slag eller stötar af en fallande kropp.



liten i jemförelse med a_1, och storleken af det mekaniska arbete, som erfordras för att afslita eller afbryta en sådan stång, beror då hufvudsakligen af qvantiteten $\frac{P_1 a_1}{2}$. För ohärdadt stål och jern deremot är b_1 i allmänhet mångdubbelt större än a_1, och storleken af det mekaniska arbete, som erfordras, för att afslita eller afbryta stänger deraf, beror derföre hufvudsakligen af qvantiteten $mP_1 b_1$, hvilken, såsom af pl. V och VI bäst synes, är störst för mjukt stål och jern, till följd af dessas större skufbarhet eller seghet. Derigenom att det segare materialet kan gifva mera efter, när det träffas af en stöt, kan det således motverka den under ett längre vägstycke, och utan att brista upptaga en häftigare stöt, än om det t. ex. vore dubbelt så starkt, men endast hade $\frac{1}{4}$ så stor skufbarhet, ehuru intensiteten af dess motståndskraft i sednare fallet vore större. Häraf förklaras nu lätt, hvarföre en jernstång, genom att antaga stor permanent formförändring, kan upptaga en stöt, för hvilken en hård stålstång af samma dimensioner brister, ehuru den sednare kan förmå bära en vida större lugnt verkande belastning *).

*) De af Redtenbacher och Weissbach för styrka emot stöt uppgifna formler äro i hög grad origtiga, isynnerhet beträffande mycket tänjbara materialier såsom mjukt jern, enär nämnda författare vid härledningen af sina formler icke fästa något afseende å de permanenta formförändringarne, utan förutsätta, att materialets formförändring, sedan elasticitetsgränsen blifvit öfverskriden, följer samma lag, som före dennas uppnående. Enligt de af Redtenbacher i hans »Der Maschinenbau», B. 1, sid. 95, uppgifne koefficienter, kommer man derföre till det orimliga resultat, att t. ex. en stång af gjutstål skulle, för att afbrytas, fordra en 6 till 12 gånger så kraftig stöt, som en jernstång, och denna sednare tåla obetydligt mera än en tackjernsstång, allt under förutsättning, att stängernas dimensioner äro lika, samt att stöten anbringas på samma sätt.

Val af material till föremål, som tillfälligtvis kunna blifva utsatta för starka stötar.

Materialets beskaffenhet i föremål, hvilka *kunna* blifva utsatta för *starka stötar*, bör alltid bestämmas med hänsyn så väl till den större eller mindre sannolikheten, att en stark stöt någongång skall träffa föremålet, som ock till de sannolika följderna af en sådan. Till föremål, som utan synnerlig fara kunna få antaga stor formförändring, ifall de skulle träffas af en mycket häftig stöt, men hvilkas bristning skulle kunna medföra stora vådor, t. ex. pansarplåtar, måste materialet företrädesvis ega stor seghet *). I andra fall deremot, t. ex. hos vissa maskindelar, kan faran eller olägenheten af en större formförändring vara lika stor eller till och med större, än af bristning, och då får man naturligtvis, vid val af material, i främsta rummet afse styrkan samt nöja sig med en ganska måttlig tänjbarhet.

Val af material till föremål, som vanligen under begagnandet äro utsatta för mindre stötar eller skakning.

Till föremål åter, som under begagnandet äro utsatta för tätt på hvarandra följande mindre stötar eller skakningar, och hvilka derföre naturligtvis måste hafva sådana dimensioner, att hvar och en sådan stöt ej kan medföra någon märkbar formförändring, torde i allmänhet vara lämpligast att välja medelhårdt stål af 0,5—0,7 proc. kolhalt, enär dettas elasticitetsgräns ligger högre än jerns, och detsamma be-

*) Vid bedömandet af motståndsförmågan emot stötar, som träffa med mycket stor hastighet, såsom af afskjutna projektiler, har man föga ledning af ofvan uppgifne formel, emedan den del, som omedelbart träffas af den stötande kroppen, då kan lösslitas från de öfriga, innan stöteffekten hinner meddela sig till dessa. Det är i sådana fall alltid fördelaktigt, att materialet jemte skufbarhet eger stor styrka emot afslitning och afskärning, (stor absolut samt skuf- eller glidningshållfasthet), och derföre är tvifvelsutan mjukt gjutstål lämpligare t. ex. till harnesk än mycket mjukt jern; men problemet är beroende af många omständigheter och svårt att beräkna.

sitter så stor tänjbarhet, att det, då det är valsadt samt fritt från sprickor, vid sträckning kan förlänga sig 5—15 procent och deröfver samt är minst 50 procent starkare än mjukt jern. Elasticitetsgränsen, likasom styrkan, kan visserligen ytterligare höjas genom härdning; men användningen af detta medel fordrar stor erfarenhet dervid samt noggrann kännedom af materialet, och verkningarne af härdningen äro det oaktadt, åtminstone för pjeser af gröfre dimensioner, merendels svåra att noga beräkna. Genom härdningen uppstår nemligen ofta en så stark spänning inom materialet, att detta brister vid en högst ringa påkänning af någon yttre kraft. Enligt våra försök är dock härdning i olja förenad med mindre äfventyr i detta fall, så framt ej föremålen dervid blifvit alltför starkt upphettade.

Valet af ett på en gång starkt, styft och dock till viss grad tänjbart material, äfvensom af en stark konstruktion, är isynnerhet af vigt, när de stötar, eller den åverkan af annan beskaffenhet, som frestar materialet, icke alltid eger rum i samma rigtning, såsom hos axlar till jernvägsvagnar och ångfartyg, m. m., enär en sådan åverkan icke, såsom i många andra fall, åstadkommer en sättning eller formförändring, som snart blir konstant, utan, om materialet ej är nog styft, eller om konstruktionen är för svag, medförer oupphörliga formförändringar än i en rigtning och än i en annan, till följd af hvilka materialet förr eller senare *måste* brista. Att i sådana fall stål, till följd af sin större styfhet och styrka, är att föredraga framför jern, har bland annat blifvit ådagalagdt genom de försök, som på uppdrag af Komiterade blifvit utförda vid Taberg i Wermland under ledning af Professor C. A. Ångström. Jern- och stålstänger hafva der blifvit profvade i en maskin af hufvudsakligen lika konstruk-

tion med den, som en tysk mekaniker, Wöhler, begagnat för dylikt ändamål och beskrifvit i Erbkams »Zeitschrift für Bauwesen» för år 1860, och i hvilken maskin stängerna under rotation, till dess de brustit, blifvit underkastade likadan påkänning, som den axlar å jernvägsvagnar vid begagnandet erfara. Rörande detaljerna af dessa försök och resultaten af desamma få vi hänvisa till den redogörelse derför, som af Prof. Ångström inom kort lärer komma att offentliggöras.

Lämpligaste hårdhetsgraden hos stål till hjulband, maskinaxlar m. m.

Vid bestämmandet af den hårdhetsgrad hos stål, som är lämpligast till särskilda slags effekter, bör afseende jemväl fästas å de förhållanden, under hvilka desamma skola användas, och ofta äfven å sättet hvarpå de tillverkas. Så bör, t. ex. för den vigtiga artikeln hjulband till jernvägsfordon, hårdhetsgraden bestämmas med hänsyn dels till sättet att fästa hjulbanden å hjulen, dels till den större eller mindre säkerhet emot bristning man fordrar, dels ock till hjulbandens tillverkningssätt. Om dessa från början göras ringformiga utan väll, och, sedan de lemnat valsverket, derföre icke behöfva underkastas annan uppvärmning, än den, som erfordras för deras påsättning å hjulen, torde kolhalten utan fara kunna stiga till 0,6 procent, hvaremot, om de hopvällas af valsade raka hjulbandsämnen och på vanligt sätt fästas på hjulen medelst genomgående skrufbultar, vi, åtminstone om de skola användas under passagerarevagnar, icke skulle våga tillstyrka begagnandet af stål med större kolhalt än omkring 0,4 procent, enär vällstället blir jemförelsevis svagare, ju hårdare stålet är. Likaså torde till helvalsade hjulband, tillverkade enligt Krupps metod, (se Jernkontorets Annaler 1862, sid. 335) kunna begagnas ett något hårdare stål, än då banden utvalsas af gjutna ringar.

Till ångfartygs-, lokomotiv- och andra maskinaxlar använder Krupp enligt uppgift gjutstål med 0,5—0,6 procents kolhalt och till axlar å passagerarevagnar, sådant, som håller något öfver 0,6 proc.

Då kolhalten hos Bessemer-stål och gjutstål nedgår till 0,4 eller derunder, och stålet icke räckes vid alltför låg temperatur, kan förlängningen vid afslitning stiga till 16 procent eller deröfver, (jemför N:o 20—24 i tab. IV) samt tänjbarheten följaktligen vara lika stor som hos godt puddeljern. Enär sådant stål är icke blott mycket starkare än mjukt jern, utan i allmänhet äfven tätare och jemnare än produkter, beredda genom puddling eller genom färskning i härd, förtjenar det utan tvifvel att föredragas framför vanligt jern till de aldraflesta ändamål, i hvilka en stor tänjbarhet af materialet är önskvärd eller nödvändig, såsom plåt till fartyg och ångpannor, plåt för tillverkning af artiklar, som skola pressas kalla, äfvensom till föremål som skola förtennas eller öfverdragas med andra metaller.

Användning af jern, som genom mekanisk behandling blifvit gjordt styft.

Då vi sett, huru mjukt jern med ringa kolhalt kan genom lämplig mekanisk bearbetning meddelas en hög grad af styfhet och styrka, är ock tydligt, att sådant jern till åtskilliga ändamål kan i viss mån ersätta stål. Ett vilkor härvid är likväl dels att materialets dimensioner äro så fina, att det genom mekanisk behandling *kan* blifva nog styft, dels att det efter denna behandling icke för den vidare bearbetningen behöfver upphettas, eller såsom färdig vara under användningen kan blifva utsatt för upphettning, enär i sådant fall både spänstigheten och styrkan till stor del kan förloras, dels ock att ändamålet icke af materialet fordrar någon större grad af hårdhet, eller förmåga att emotstå nötning. Derföre användes också hårdt dragen jern-

tråd allmänt till fjedrar i möbler, kallsmidt jern till smärre vagnsfjedrar m. m.; men sådant jern kan deremot icke med fördel begagnas till gröfre vagnsfjedrar, gröfre axlar och dylikt.

Fosforhaltigt jerns användbarhet.

Rörande fosforns inverkan på jern veta vi, att äfven en ringa mängd deraf, eller 0,1—0,2 procent, vid stark och långvarig upphettning gifver jernet en grofkristallinisk textur, samt derigenom minskar både dess styrka och tänjbarhet, eller gör det hvad man kallar kallbräckt; men vi känna ock, att om det efter upphettningen räckes så betydligt, att det vid långsamt skeende afslitning eller afbrytning visar tågig brottyta, det blir både starkt och segt. Om man emellertid af en fosforrik jernstång, som genom räckning erhållit för vanliga behof erforderlig seghet, gör t. ex. en skrufbult, förändras ofta genom upphettningen texturen vid bulthufvudet, så att efter afsvalning detta med ett slag lätt kan afslås. Af samma skäl kan ett hjulband, som icke är helvalsadt utan hopväldt, äfven om materialet deri håller temligen mycket fosfor, på största delen af periferien vara oklanderligt; men ett sådant hjulband är vid vällstället nästan alltid grofkristalliniskt och i följd deraf otillförlitligt. Till pjeser af grofva dimensioner, såsom större maskinaxlar m. m. bör man alldeles undvika att använda fosforrikt jern, enär den mekaniska bearbetning, dylika artiklar kunna undergå, icke är tillräcklig, för att befria dem från den sprödheten betingande grofkristalliniska texturen. Deremot kan dylikt jern utan synnerlig olägenhet användas till vissa valsade effekter, hvilka aldrig behöfva starkt upphettas, sedan de lemnat valsverket, t. ex. jernvägsskenor, af hvilka öfra delen, så väl i England, som på Kontinenten, vanligen göras af mycket fosforhaltiga materialier äfven af det skäl, att fosforn dels gör jern

lättvälldare, dels ock ökar dess styfhet samt förmåga att emotstå slitning. För sin egenskap att låta välla sig vid låg temperatur använder man ej sällan mycket fosforhaltigt jern till ångpannetuber, gasledningsrör m. m. Man antager i allmänhet äfven, och såsom det synes på goda skäl, att fosforhaltigt jern mindre angripes af rost, och att plåt deraf i ångpannor mindre oxideras af lågan.

Användbarheten af jern, som är förorenadt af slagg.

Inblandad slagg kan, såsom vi sett, för ett fosforrikt jern såtillvida vara nyttig, som den i väsendtlig mån minskar dess benägenhet att blifva kallbräckt; men ett af mycken slagg förorenadt jern kan deremot icke, eller blott med svårighet, i värme bearbetas och gifvas andra former, utan att spricka sönder. Sådant jern kan derföre med fördel blott användas till föremål, i hvilka det icke behöfver genom smidning omgestaltas, såsom fallet är med största delen af det i sammansatta byggnadskonstruktioner ingående jernet, med jernvägsskenor, T-jern och flera andra façonnerade jernsorter. Till följd af det ringa sammanhang, som eger rum emellan de särskilda, af slaggen till en del skilda lagren deri, bekommer sådant jern dock snart längdsprickor och klyfver sig, om det i vanlig temperatur utsättes för stark tryckning, såsom man ofta har tillfälle iakttaga å jernvägsskenor och hjulband. Ett slaggrikt jern är jemväl mindre tjenligt till föremål, som skola öfverdragas med andra metaller, och angripes, efter hvad man har all anledning antaga, äfven hastigare af vatten, i synnerhet om detta är salthaltigt; dock äro några noggranna komparativa försök i sistnämnda hänseende oss icke bekanta.

Företrädet af ett rent jern till de flesta smidesarbeten.

Såsom man häraf finner, och vi äfven flera gånger förut antydt, är det alltså många andra egenskaper, än de vid sträckningsförsök framträ-

tråd allmänt till fjedrar i möbler, kalls-
smärre vagnsfjedrar m. m.; men så
deremot icke med fördel begagnas
fjedrar, gröfre axlar och dylikt.

Fosforhaltigt jerns användbarhet. Rörande fosforns inverka ... a
att äfven en ringa mängd ... d
procent, vid stark och lång ... sk
jernet en grofkristallinis ... nan
minskar både dess styr ... rnet
det hvad man kallar ... skad-
att om det efter ur ... l och
att det vid lån ... tt kan
brytning visar ... g kall-
och segt. O ... rde ett rent och
stång, som ... skadt jern ännu länge
hof erfor ... värderadt, samt kunna uthärda
ändras ... en det bästa puddeljern.
hufvu
lätt
sr

Sträckningsförsök i köld och värme.

Det har länge varit en temligen allmän åsigt, eller åtminstone en förmodan, att jern och stål i köld skulle blifva spröda och svaga. Man har iakttagit att kettingar, som användas å vindspel vid byggnadsarbeten, i allmänhet brista oftare under vintern i sträng köld, än öfriga årstider, och att samma förhållande eger rum med vanliga vagnsaxlar, samt i synnerhet med axlar och hjulband å jernvägsvagnar. De enda tillförlitliga oss bekanta försök rörande jerns och ståls förhållande vid sträckning i köld, äro några af Wertheim*), och dessa synas icke gifva stöd åt ofvannämnda allmänna åsigt. Som emellertid Wertheim gjorde sina försök endast med fin jerntråd af 0,27, och en sorts blå-anlöpt ståltråd af 0,2 liniers diameter, samt temperaturen, i allmänhet dervid icke var lägre än omkring —10° Cels, och

*) Se Poggendorfs Annaler, Ergänzungsband II.

'1 ett af de 6 försöken nedgick till —14°
'a vi ansett det vara af intresse att un-
mindre valsade och smidda jern- och
bsoluta styrka, än deras tänjbarhet,
och elasticitetsmodul vid de lägsta
som i vårt land pläga förekomma.
härmed hafva vi äfven, för att
temperaturens inflytande på
'et, tänjbarhet och styrka,
i värme vid 120—200°

.u gå att beskrifva de apparater, af
. vid dessa undersökningar betjenat oss,
.ue vi få fästa uppmärksamheten derå, att vi varit nödsakade konstruera nämnda apparater sådana, att de kunnat användas i den förut beskrifna hydrauliska sträckmaskin, som stått till vårt förfogande.

De apparater, som vi begagnat till afslitningsförsöken i köld, framställas å pl. VIII, fig. 1, 2 och 3 i $\frac{1}{8}$ af naturliga storleken Fig. 1 visar apparaterna, så anordnade, som de vid försöken varit, i plan, fig. 2 i längd-genomskärning efter linien XY, och fig. 3 i tvär-genomskärning efter brutna linien UV i fig. 1. Till åstadkommande af kölden hafva vi alltid användt en s. k. intermittent isapparat af Carré's konstruktion. Denna, som finnes beskrifven i Dinglers Polytechnisches Journal för år 1861, med flera tekniska tidskrifter, består af 2 med hvarandra genom ett rör förbundna, af tjock förtennt jernplåt förfärdigade, reservoirer, å våra fig. betecknade med A och B, af hvilka B är sammansatt af en yttre konisk del *a* och en, inuti denna sittande, genom bottnar upptill och nedtill dermed concentriskt förbunden cylinder *b*. Sistnämnde cylinder är i öfra ändan alldeles öppen och har i botten ett hål, som är försedt med ett kort ansats- Afslitningsförsök i köld. Beskrifning af dervid använda apparater.

dande, som bestämma ett jerns värde och användbarhet för särskilda ändamål. Vid val af material till en mängd maskindelar, vissa klensmedsarbeten m. m., är ofta styrkan af jemförelsevis underordnad vigt, helst denna ej sällan genom lämplig mekanisk behandling kan i betydlig mån höjas, utan bör man i allmänhet dervid i främsta rummet afse, att jernet är tätt samt innehåller så litet som möjligt af skadliga ämnen, i synnerhet slagg samt svafvel och fosfor, så att det i värme, utan att spricka, lätt kan bearbetas och efter afsvalning icke visar sig kallbräckt. Till flera sådana behof torde ett rent och med omsorg beredt härdfärskadt jern ännu länge samt med skäl blifva värderadt, samt kunna uthärda täflan med äfven det bästa puddeljern.

Sträckningsförsök i köld och värme.

Det har länge varit en temligen allmän åsigt, eller åtminstone en förmodan, att jern och stål i köld skulle blifva spröda och svaga. Man har iakttagit att kettingar, som användas å vindspel vid byggnadsarbeten, i allmänhet brista oftare under vintern i sträng köld, än öfriga årstider, och att samma förhållande eger rum med vanliga vagnsaxlar, samt i synnerhet med axlar och hjulband å jernvägsvagnar. De enda tillförlitliga oss bekanta försök rörande jerns och ståls förhållande vid sträckning i köld, äro några af Wertheim*), och dessa synas icke gifva stöd åt ofvannämnda allmänna åsigt. Som emellertid Wertheim gjorde sina försök endast med fin jerntråd af 0,27, och en sorts blå-anlöpt ståltråd af 0,2 liniers diameter, samt temperaturen, i allmänhet dervid icke var lägre än omkring —10° Cels, och

*) Se Poggendorfs Annaler, Ergänzungsband II.

blott vid ett af de 6 försöken nedgick till —14° Cels., hafva vi ansett det vara af intresse att undersöka ej mindre valsade och smidda jern- och stålstängers absoluta styrka, än deras tänjbarhet, elasticitetsgräns och elasticitetsmodul vid de lägsta temperaturgrader, som i vårt land pläga förekomma.

I sammanhang härmed hafva vi äfven, för att närmare lära känna temperaturens inflytande på jerns och ståls elasticitet, tänjbarhet och styrka, anställt sträckningsförsök i värme vid 120—200° Cels.

Då vi nu gå att beskrifva de apparater, af hvilka vi vid dessa undersökningar betjenat oss, torde vi få fästa uppmärksamheten derå, att vi varit nödsakade konstruera nämnda apparater sådana, att de kunnat användas i den förut beskrifna hydrauliska sträckmaskin, som stått till vårt förfogande.

De apparater, som vi begagnat till afslitningsförsöken i köld, framställas å pl. VIII, fig. 1, 2 och 3 i ⅛ af naturliga storleken Fig. 1 visar apparaterna, så anordnade, som de vid försöken varit, i plan, fig. 2 i längd-genomskärning efter linien XY, och fig. 3 i tvär-genomskärning efter brutna linien UV i fig. 1. Till åstadkommande af kölden hafva vi alltid användt en s. k. intermittent isapparat af Carré's konstruktion. Denna, som finnes beskrifven i Dinglers Polytechnisches Journal för år 1861, med flera tekniska tidskrifter, består af 2 med hvarandra genom ett rör förbundna, af tjock förtennt jernplåt förfärdigade, reservoirer, å våra fig. betecknade med A och B, af hvilka B är sammansatt af en yttre konisk del *a* och en, inuti denna sittande, genom bottnar upptill och nedtill dermed concentriskt förbunden cylinder *b*. Sistnämnde cylinder är i öfra ändan alldeles öppen och har i botten ett hål, som är försedt med ett kort ansats-

Afslitningsförsök i köld.

Beskrifning af dervid använda apparater.

rör *e*. På det röret *c*, genom hvilket A och rummet emellan *a* och *b* stå i förbindelse med hvarandra, icke under begagnandet skall sönderbrytas, sitter å detta och A fästadt ett rörstycke *d*, hvilket icke har annat ändamål, än att göra apparaten starkare. Innan apparaten sättes i verksamhet, är kärlet A till omkring ¾ fyldt med stark kaustik ammoniak, och rummet emellan *a* och *b* tomt. Apparaten är för öfrigt lufttom och fullkomligt lufttätt sluten. När köld skall frambringas, nedsänkes B i ett kärl, som är fyldt med kallt vatten (ju kallare desto bättre), och A uppvärmes småningom i en liten ugn, tills en i det lilla, förut med olja fyllda, röret *y* (fig. 1) nedsatt termometer angifver, att temperaturen derstädes stigit till 130—140° C. Såsom bekant är, absorberar 1 volum vatten vid +15° C. och vanligt lufttryck omkring 460 volumer ammoniakgas, och den vanliga kaustika ammoniaken är icke annat än vatten, som är mättadt med ammoniakgas. Genom upphettning af den kaustika ammoniaken i A, utdrifves nu ammoniakgasen ur vattnet, och, som apparaten är fullkomligt sluten, samt trycket derföre stiger, kondenseras nämnde gas i det afkylda ringformiga rummet i B till en vätska. Sedan temperaturen i A stigit till 130° innehåller A hufvudsakligen blott vatten, och B kondenserad, i det närmaste vattenfri ammoniak. Trycket i apparaten kan då uppgå till 6—10 atmosferer, alltefter kylvattnets temperatur. Temperaturen i kärlet B är naturligtvis alltid något högre än kylvattnets, och den kondenserade ammoniakgasens tryck är vid 0° = 4,4, vid +10,8° = 6, vid +19,4° = 7,6 och vid +28,3° = 10 atmosferer. A nedsänkes nu i reservoiren med kallt vatten, och B får hänga utanför densamma, på sätt i fig. 3 visas. När derigenom vattnet i A afkyles, åter-

kommer dess frändskap till ammoniakgasen, som följaktligen med stor begärlighet af vattnet absorberas, och i samma mån detta sker, afdunstar den genom trycket i flytande form hållna, vattenfria ammoniaken i kärlet B. Genom denna afdunstning uppstår i B stark köld, som vid några af mig gjorda försök, då cylindern *b* blifvit fylld med förut till några grader under 0° afkyld sprit, och icke stått i förbindelse med något annat kärl, nedgått till nära —50°. För att skydda B emot uppvärmning, bör densamma, sedan den blifvit upplyftad ur den kalla vattenreservoiren, och A deri nedsänkt, omklädas med en tjock, helst med bomull stoppad, mantel. Vid den storlek af ifrågavarande isapparat, som å ritningen är framstäld, har till uppvärmning af A till den bestämda temperaturen, 130°, i allmänhet åtgått 1 till 1½ timme, och köldbildningen i B har fortfarit ungefär lika lång tid.

Till afslitningsförsöken har medelst den afbildade apparaten behörig köld alltid kunnat åstadkommas; men vid undersökningarne rörande elasticitetsgränsen och elasticitetsmodulen i köld hafva vanligen 2:ne isapparater, en af den å pl. VIII angifna storleken och en något mindre, den ena efter den andra måst användas, för att kunna erhålla nog låg temperatur hos de större qvantiteter sprit, som vid sistnämnda försök erfordrats. Vid mina sednast anställda försök har jag dock haft att tillgå en större isapparat, enligt uppgift i fabrikantens priskurant, beräknad för en tillverkning af 2 kilogrammer is vid hvarje operation, och har jag medelst densamma, så väl vid elasticitets-, som de längre fram beskrifna böjningsförsöken, kunnat utan svårighet åstadkomma en köld af —30° och till och med derunder.

Af stor vigt vid begagnandet af dessa apparater är, att de efter hvarje operation läggas så,

att kärlen A och B blifva horizontella, och B kommer öfver A samt få förblifva i denna ställning allraminst ¼ timma, innan de ånyo begagnas. B innehåller nemligen efter hvarje försök alltid något kaustik ammoniak, och om denna ej får rinna öfver till A, så att B blir i möjligaste mån torr, uppstår der blott obetydlig afkylning. För att befordra torkningen af B är nyttigt, att ställa den ¼ timme i varmt vatten, innan den på förut angifvet sätt nedlägges.

Den apparat, hvari profstängerna vid afslitningsförsöken i köld blifvit inneslutna och afkylda, är å ritningen betecknad med D. Den består hufvudsakligen af ett messingsrör af omkring 17 liniers diameter, som på ena ändan slutar med ett helt kort rörstycke *h* och på den andra med ett längre *i* *), hvilket likasom *h* blott har så stor diameter, att den, genom stukning tjockare gjorda, och derefter gängade ändan af profstången kan stickas derigenom. *k* och *l* äro 2:ne krökta kopparrör, af hvilka det förra står i förbindelse med den öfra, och det sednare med den nedra delen af cylindern *b* i köldapparaten. Föreningen emellan *k* och *b* består af ett kort kautschukrör och 2:ne, genom ett dylikt rör likaledes förbundna, kopparrör *m* och *q*, af hvilka det sednare går genom ett löst, af 2:ne halfcirkelformiga delar bestående, lock *u* ned uti *b*. Vid *m* äro fastlödda 2:ne mindre rör, af hvilka det ena *n* är afsedt för insättning af en termometer, och det andra *o* står i förbindelse med ett litet glasrör med en kula *p*.

*) Röret *i* hade för afslitningsförsöken i köld icke behöft vara längre än *h*, men har erhållit den å ritningen antydda längden, enär vi velat använda samma apparat till afslitningsförsök i värme, och då af skäl, för hvilka framdeles skall redogöras, haft fördel af att hafva röret *i* längre.

Emellan *l* och *b* är förbindelse åstadkommen genom 2:ne kautschuksrör *r* och *t* samt ett grenrör *s*.

Sedan profstången, på sätt nedan omförmäles, blifvit i apparaten inpassad och fästad i pressen, samt kärlet A, efter att förut hafva blifvit uppvärmdt till behörig värmegrad, nedsänkt i vattenreservoiren C, fästes kautschukröret *t* på det lilla i botten af *b* anbragta ansatsröret *e*, i *b* insättes en liten pumpinrättning E, äfvensom det genom låcket *u* gående röret *q*, och så väl cylindern *b* som hela den med densamma i förbindelse stående rör-apparaten fylles med sprit *). Genom att suga i ett på kulröret *p* fästadt kautschukrör, fylles äfven öfra rörledningen *k*, *m*, *o*, *p* och *q* med sprit, så att denna uppstiger i glaskulan *p*, hvarefter med en liten vanlig klämmare sistnämnde kautschukrör tillslutes.

Genom det å grenröret *s* sittande kautschukröret, som under försöken är slutet med en klämmare, uttappas spriten efter hvarje försöks slut.

Röret D är, för att vara skyddadt emot uppvärmning, omgifvet af en zinkplåt-kåpa *v* **), som består af 4 lösa delar, samt utanpå denna af en med tjock bomullsvadd stoppad mantel. Äfven alla rörledningarne böra till skydd emot uppvärmning vara väl omlindade med bomullsvadd eller andra dåliga värmeledare. Genom den starka afkylning,

---

*) Bränvin af 50 volumprocents alkoholhalt eller derunder kan vid dessa försök icke begagnas, om kölden skall nedgå under —33°; ty vid denna temperatur börjar bränvin af nämnda styrka att frysa.

**) Denna kåpa hade visserligen kunnat undvaras vid afslitningsförsöken i köld, men är nödvändig, om samma apparat skall kunna användas till afslitningsförsök i stark värme.

tion med den, som en tysk mekaniker, Wöhler, begagnat för dylikt ändamål och beskrifvit i Erbkams »Zeitschrift für Bauwesen» för år 1860, och i hvilken maskin stängerna under rotation, till dess de brustit, blifvit underkastade likadan påkänning, som den axlar å jernvägsvagnar vid begagnandet erfara. Rörande detaljerna af dessa försök och resultaten af desamma få vi hänvisa till den redogörelse derför, som af Prof. Ångström inom kort lärer komma att offentliggöras.

Lämpligaste hårdhetsgraden hos stål till hjulband, maskinaxlar m. m.

Vid bestämmandet af den hårdhetsgrad hos stål, som är lämpligast till särskilda slags effekter, bör afseende jemväl fästas å de förhållanden, under hvilka desamma skola användas, och ofta äfven å sättet hvarpå de tillverkas. Så bör, t. ex. för den vigtiga artikeln hjulband till jernvägsfordon, hårdhetsgraden bestämmas med hänsyn dels till sättet att fästa hjulbanden å hjulen, dels till den större eller mindre säkerhet emot bristning man fordrar, dels ock till hjulbandens tillverkningssätt. Om dessa från början göras ringformiga utanväll, och, sedan de lemnat valsverket, derföre icke behöfva underkastas annan uppvärmning, än den, som erfordras för deras påsättning å hjulen, torde kolhalten utan fara kunna stiga till 0,6 procent, hvaremot, om de hopvällas af valsade raka hjulbandsämnen och på vanligt sätt fästas på hjulen medelst genomgående skrufbultar, vi, åtminstone om de skola användas under passagerarevagnar, icke skulle våga tillstyrka begagnandet af stål med större kolhalt än omkring 0,4 procent, enär vällstället blir jemförelsevis svagare, ju hårdare stålet är. Likaså torde till helvalsade hjulband, tillverkade enligt Krupps metod, (se Jernkontorets Annaler 1862, sid. 335) kunna begagnas ett något hårdare stål, än då banden utvalsas af gjutna ringar.

Till ångfartygs-, lokomotiv- och andra maskinaxlar använder Krupp enligt uppgift gjutstål med 0,5—0,6 procents kolhalt och till axlar å passagerarevagnar, sådant, som håller något öfver 0,6 proc.

Då kolhalten hos Bessemer-stål och gjutstål nedgår till 0,4 eller derunder, och stålet icke räckes vid alltför låg temperatur, kan förlängningen vid afslitning stiga till 16 procent eller deröfver, (jemför N:o 20—24 i tab. IV) samt tänjbarheten följaktligen vara lika stor som hos godt puddeljern. Enär sådant stål är icke blott mycket starkare än mjukt jern, utan i allmänhet äfven tätare och jemnare än produkter, beredda genom puddling eller genom färskning i härd, förtjenar det utan tvifvel att föredragas framför vanligt jern till de aldraflesta ändamål, i hvilka en stor tänjbarhet af materialet är önskvärd eller nödvändig, såsom plåt till fartyg och ångpannor, plåt för tillverkning af artiklar, som skola pressas kalla, äfvensom till föremål som skola förtennas eller öfverdragas med andra metaller.

Användning af jern, som genom mekanisk behandling blifvit gjordt styft.

Då vi sett, huru mjukt jern med ringa kolhalt kan genom lämplig mekanisk bearbetning meddelas en hög grad af styfhet och styrka, är ock tydligt, att sådant jern till åtskilliga ändamål kan i viss mån ersätta stål. Ett vilkor härvid är likväl dels att materialets dimensioner äro så fina, att det genom mekanisk behandling *kan* blifva nog styft, dels att det efter denna behandling icke för den vidare bearbetningen behöfver upphettas, eller såsom färdig vara under användningen kan blifva utsatt för upphettning, enär i sådant fall både spänstigheten och styrkan till stor del kan förloras, dels ock att ändamålet icke af materialet fordrar någon större grad af hårdhet, eller förmåga att emotstå nötning. Derföre användes också hårdt dragen jern-

tråd allmänt till fjedrar i möbler, kallsmidt jern till smärre vagnsfjedrar m. m.; men sådant jern kan deremot icke med fördel begagnas till gröfre vagnsfjedrar, gröfre axlar och dylikt.

Fosforhaltigt jerns användbarhet.

Rörande fosforns inverkan på jern veta vi, att äfven en ringa mängd deraf, eller 0,1—0,2 procent, vid stark och långvarig upphettning gifver jernet en grofkristallinisk textur, samt derigenom minskar både dess styrka och tänjbarhet, eller gör det hvad man kallar kallbräckt; men vi känna ock, att om det efter upphettningen räckes så betydligt, att det vid långsamt skeende afslitning eller afbrytning visar tågig brottyta, det blir både starkt och segt. Om man emellertid af en fosforrik jernstång, som genom räckning erhållit för vanliga behof erforderlig seghet, gör t. ex. en skrufbult, förändras ofta genom upphettningen texturen vid bulthufvudet, så att efter afsvalning detta med ett slag lätt kan afslås. Af samma skäl kan ett hjulband, som icke är helvalsadt utan hopväldt, äfven om materialet deri håller temligen mycket fosfor, på största delen af periferien vara oklanderligt; men ett sådant hjulband är vid vällstället nästan alltid grofkristalliniskt och i följd deraf otillförlitligt. Till pjeser af grofva dimensioner, såsom större maskinaxlar m. m. bör man alldeles undvika att använda fosforrikt jern, enär den mekaniska bearbetning, dylika artiklar kunna undergå, icke är tillräcklig, för att befria dem från den sprödheten betingande grofkristalliniska texturen. Deremot kan dylikt jern utan synnerlig olägenhet användas till vissa valsade effekter, hvilka aldrig behöfva starkt upphettas, sedan de lemnat valsverket, t. ex. jernvägsskenor, af hvilka öfra delen, så väl i England, som på Kontinenten, vanligen göras af mycket fosforhaltiga materialier äfven af det skäl, att fosforn dels gör jern

lättvälldare, dels ock ökar dess styfhet samt förmåga att emotstå slitning. För sin egenskap att låta välla sig vid låg temperatur använder man ej sällan mycket fosforhaltigt jern till ångpannetuber, gasledningsrör m. m. Man antager i allmänhet äfven, och såsom det synes på goda skäl, att fosforhaltigt jern mindre angripes af rost, och att plåt deraf i ångpannor mindre oxideras af lågan.

Inblandad slagg kan, såsom vi sett, för ett fosforrikt jern såtillvida vara nyttig, som den i väsendtlig mån minskar dess benägenhet att blifva kallbräckt; men ett af mycken slagg förorenadt jern kan deremot icke, eller blott med svårighet, i värme bearbetas och gifvas andra former, utan att spricka sönder. Sådant jern kan derföre med fördel blott användas till föremål, i hvilka det icke behöfver genom smidning omgestaltas, såsom fallet är med största delen af det i sammansatta byggnadskonstruktioner ingående jernet, med jernvägsskenor, T-jern och flera andra façonnerade jernsorter. Till följd af det ringa sammanhang, som eger rum emellan de särskilda, af slaggen till en del skilda lagren deri, bekommer sådant jern dock snart längdsprickor och klyfver sig, om det i vanlig temperatur utsättes för stark tryckning, såsom man ofta har tillfälle iakttaga å jernvägsskenor och hjulband. Ett slaggrikt jern är jemväl mindre tjenligt till föremål, som skola öfverdragas med andra metaller, och angripes, efter hvad man har all anledning antaga, äfven hastigare af vatten, i synnerhet om detta är salthaltigt; dock äro några noggranna komparativa försök i sistnämnda hänseende oss icke bekanta.

Användbarheten af jern, som är förorenadt af slagg.

Såsom man häraf finner, och vi äfven flera gånger förut antydt, är det alltså många andra egenskaper, än de vid sträckningsförsök framträ-

Företrädet af ett rent jern till de flesta smidesarbeten.

dande, som bestämma ett jerns värde och användbarhet för särskilda ändamål. Vid val af material till en mängd maskindelar, vissa klensmedsarbeten m. m., är ofta styrkan af jemförelsevis underordnad vigt, helst denna ej sällan genom lämplig mekanisk behandling kan i betydlig mån höjas, utan bör man i allmänhet dervid i främsta rummet afse, att jernet är tätt samt innehåller så litet som möjligt af skadliga ämnen, i synnerhet slagg samt svafvel och fosfor, så att det i värme, utan att spricka, lätt kan bearbetas och efter afsvalning icke visar sig kallbräckt. Till flera sådana behof torde ett rent och med omsorg beredt härdfärskadt jern ännu länge samt med skäl blifva värderadt, samt kunna uthärda täflan med äfven det bästa puddeljern.

Sträckningsförsök i köld och värme.

Det har länge varit en temligen allmän åsigt, eller åtminstone en förmodan, att jern och stål i köld skulle blifva spröda och svaga. Man har iakttagit att kettingar, som användas å vindspel vid byggnadsarbeten, i allmänhet brista oftare under vintern i sträng köld, än öfriga årstider, och att samma förhållande eger rum med vanliga vagnsaxlar, samt i synnerhet med axlar och hjulband å jernvägsvagnar. De enda tillförlitliga oss bekanta försök rörande jerns och ståls förhållande vid sträckning i köld, äro några af Wertheim*), och dessa synas icke gifva stöd åt ofvannämnda allmänna åsigt. Som emellertid Wertheim gjorde sina försök endast med fin jerntråd af 0,27, och en sorts blå-anlöpt ståltråd af 0,2 liniers diameter, samt temperaturen, i allmänhet dervid icke var lägre än omkring -10° Cels, och

*) Se Poggendorfs Annaler, Ergänzungsband II.

blott vid ett af de 6 försöken nedgick till —14° Cels., hafva vi ansett det vara af intresse att undersöka ej mindre valsade och smidda jern- och stålstångers absoluta styrka, än deras tänjbarhet, elasticitetsgräns och elasticitetsmodul vid de lägsta temperaturgrader, som i vårt land pläga förekomma.

I sammanhang härmed hafva vi äfven, för att närmare lära känna temperaturens inflytande på jerns och ståls elasticitet, tänjbarhet och styrka, anställt sträckningsförsök i värme vid 120—200° Cels.

Då vi nu gå att beskrifva de apparater, af hvilka vi vid dessa undersökningar betjenat oss, torde vi få fästa uppmärksamheten derå, att vi varit nödsakade konstruera nämnda apparater sådana, att de kunnat användas i den förut beskrifna hydrauliska sträckmaskin, som stått till vårt förfogande.

De apparater, som vi begagnat till afslitningsförsöken i köld, framställas å pl. VIII, fig. 1, 2 och 3 i ⅛ af naturliga storleken Fig. 1 visar apparaterna, så anordnade, som de vid försöken varit, i plan, fig. 2 i längd-genomskärning efter linien XY, och fig. 3 i tvär-genomskärning efter brutna linien UV i fig. 1. Till åstadkommande af kölden hafva vi alltid användt en s. k. intermittent isapparat af Carré's konstruktion. Denna, som finnes beskrifven i Dinglers Polytechnisches Journal för år 1861, med flera tekniska tidskrifter, består af 2 med hvarandra genom ett rör förbundna, af tjock förtennt jernplåt förfärdigade, reservoirer, å våra fig. betecknade med A och B, af hvilka B är sammansatt af en yttre konisk del *a* och en, inuti denna sittande, genom bottnar upptill och nedtill dermed concentriskt förbunden cylinder *b*. Sistnämnde cylinder är i öfra ändan alldeles öppen och har i botten ett hål, som är försedt med ett kort ansats-

Afslitnings-försök i köld.

Beskrifning af dervid använda apparater.

rör *e*. På det röret *c*, genom hvilket A och rummet emellan *a* och *b* stå i förbindelse med hvarandra, icke under begagnandet skall sönderbrytas, sitter å detta och A fästadt ett rörstycke *d*, hvilket icke har annat ändamål, än att göra apparaten starkare. Innan apparaten sättes i verksamhet, är kärlet A till omkring ¾ fyldt med stark kaustik ammoniak, och rummet emellan *a* och *b* tomt. Apparaten är för öfrigt lufttom och fullkomligt lufttätt sluten. När köld skall frambringas, nedsänkes B i ett kärl, som är fyldt med kallt vatten (ju kallare desto bättre), och A uppvärmes småningom i en liten ugn, tills en i det lilla, förut med olja fyllda, röret *y* (fig. 1) nedsatt termometer angifver, att temperaturen derstädes stigit till 130—140° C. Såsom bekant är, absorberar 1 volum vatten vid +15° C. och vanligt lufttryck omkring 460 volumer ammoniakgas, och den vanliga kaustika ammoniaken är icke annat än vatten, som är mättadt med ammoniakgas. Genom upphettning af den kaustika ammoniaken i A, utdrifves nu ammoniakgasen ur vattnet, och, som apparaten är fullkomligt sluten, samt trycket derföre stiger, kondenseras nämnde gas i det afkylda ringformiga rummet i B till en vätska. Sedan temperaturen i A stigit till 130° innehåller A hufvudsakligen blott vatten, och B kondenserad, i det närmaste vattenfri ammoniak. Trycket i apparaten kan då uppgå till 6—10 atmosferer, alltefter kylvattnets temperatur. Temperaturen i kärlet B är naturligtvis alltid något högre än kylvattnets, och den kondenserade ammoniakgasens tryck är vid 0° = 4,4, vid + 10,8° = 6, vid + 19,4° = 7,6 och vid + 28,3° = 10 atmosferer. A nedsänkes nu i reservoiren med kallt vatten, och B får hänga utanför densamma, på sätt i fig. 3 visas. När derigenom vattnet i A afkyles, åter-

kommer dess frändskap till ammoniakgasen, som följaktligen med stor begärlighet af vattnet absorberas, och i samma mån detta sker, afdunstar den genom trycket i flytande form hållna, vattenfria ammoniaken i kärlet B. Genom denna afdunstning uppstår i B stark köld, som vid några af mig gjorda försök, då cylindern *b* blifvit fylld med förut till några grader under 0° afkyld sprit, och icke stått i förbindelse med något annat kärl, nedgått till nära —50°. För att skydda B emot uppvärmning, bör densamma, sedan den blifvit upplyftad ur den kalla vattenreservoiren, och A deri nedsänkt, omklädas med en tjock, helst med bomull stoppad, mantel. Vid den storlek af ifrågavarande isapparat, som å ritningen är framstäld, har till uppvärmning af A till den bestämda temperaturen, 130°, i allmänhet åtgått 1 till 1½ timme, och köldbildningen i B har fortfarit ungefär lika lång tid.

Till afslitningsförsöken har medelst den afbildade apparaten behörig köld alltid kunnat åstadkommas; men vid undersökningarne rörande elasticitetsgränsen och elasticitetsmodulen i köld hafva vanligen 2:ne isapparater, en af den å pl. VIII angifna storleken och en något mindre, den ena efter den andra måst användas, för att kunna erhålla nog låg temperatur hos de större qvantiteter sprit, som vid sistnämnda försök erfordrats. Vid mina sednast anställda försök har jag dock haft att tillgå en större isapparat, enligt uppgift i fabrikantens priskurant, beräknad för en tillverkning af 2 kilogrammer is vid hvarje operation, och har jag medelst densamma, så väl vid elasticitets-, som de längre fram beskrifna böjningsförsöken, kunnat utan svårighet åstadkomma en köld af —30° och till och med derunder.

Af stor vigt vid begagnandet af dessa apparater är, att de efter hvarje operation läggas så,

att kärlen A och B blifva horizontella, och B kommer öfver A samt få förblifva i denna ställning allraminst ¼ timma, innan de ånyo begagnas. B innehåller nemligen efter hvarje försök alltid något kaustik ammoniak, och om denna ej får rinna öfver till A, så att B blir i möjligaste mån torr, uppstår der blott obetydlig afkylning. För att befordra torkningen af B är nyttigt, att ställa den ¼ timme i varmt vatten, innan den på förut angifvet sätt nedlägges.

Den apparat, hvari profstängerna vid afslitningsförsöken i köld blifvit inneslutna och afkylda, är å ritningen betecknad med D. Den består hufvudsakligen af ett messingsrör af omkring 17 liniers diameter, som på ena ändan slutar med ett helt kort rörstycke *h* och på den andra med ett längre *i* *), hvilket likasom *h* blott har så stor diameter, att den, genom stukning tjockare gjorda, och derefter gängade ändan af profstången kan stickas derigenom. *k* och *l* äro 2:ne krökta kopparrör, af hvilka det förra står i förbindelse med den öfra, och det sednare med den nedra delen af cylindern *b* i köldapparaten. Föreningen emellan *k* och *b* består af ett kort kautschukrör och 2:ne, genom ett dylikt rör likaledes förbundna, kopparrör *m* och *q*, af hvilka det sednare går genom ett löst, af 2:ne halfcirkelformiga delar bestående. låck *u* ned uti *b*. Vid *m* äro fastlödda 2:ne mindre rör, af hvilka det ena *n* är afsedt för insättning af en termometer, och det andra *o* står i förbindelse med ett litet glasrör med en kula *p*.

*) Röret *i* hade för afslitningsförsöken i köld icke behöft vara längre än *h*, men har erhållit den å ritningen antydda längden, enär vi velat använda samma apparat till afslitningsförsök i värme, och då af skäl, för hvilka framdeles skall redogöras, haft fördel af att hafva röret *i* längre.

Emellan *l* och *b* är förbindelse åstadkommen genom 2:ne kautschuksrör *r* och *t* samt ett grenrör *s*.

Sedan profstången, på sätt nedan omförmäles, blifvit i apparaten inpassad och fästad i pressen, samt kärlet A, efter att förut hafva blifvit uppvärmdt till behörig värmegrad, nedsänkt i vattenreservoiren C, fästes kautschukröret *t* på det lilla i botten af *b* anbragta ansatsröret *e*, i *b* insättes en liten pumpinrättning E, äfvensom det genom låcket *u* gående röret *q*, och så väl cylindern *b* som hela den med densamma i förbindelse stående rör-apparaten fylles med sprit *). Genom att suga i ett på kulröret *p* fästadt kautschukrör, fylles äfven öfra rörledningen *k*, *m*, *o*, *p* och *q* med sprit, så att denna uppstiger i glaskulan *p*, hvarefter med en liten vanlig klämmare sistnämnde kautschukrör tillslutes.

Genom det å grenröret *s* sittande kautschukröret, som under försöken är slutet med en klämmare, uttappas spriten efter hvarje försöks slut.

Röret D är, för att vara skyddadt emot uppvärmning, omgifvet af en zinkplåt-kåpa *v* **), som består af 4 lösa delar, samt utanpå denna af en med tjock bomullsvadd stoppad mantel. Äfven alla rörledningarne böra till skydd emot uppvärmning vara väl omlindade med bomullsvadd eller andra dåliga värmeledare. Genom den starka afkylning,

---

*) Bränvin af 50 volumprocents alkoholhalt eller derunder kan vid dessa försök icke begagnas, om kölden skall nedgå under —33°; ty vid denna temperatur börjar bränvin af nämnda styrka att frysa.

**) Denna kåpa hade visserligen kunnat undvaras vid afslitningsförsöken i köld, men är nödvändig, om samma apparat skall kunna användas till afslitningsförsök i stark värme.

som eger rum i B, kommer spriten visserligen af sig sjelf i cirkulation i den rigtning, som i fig. 3 genom pilar är antydd; men för åstadkommandet af en lifligare cirkulation är i cylindern *b* anbragt pumpinrättningen E, hvars kanna icke sluter tätt intill väggarne af *b* och derföre röres mycket lätt, samt är försedd med 2:ne stora segmentformiga klaffventiler af tunnt förtennt jernbleck. Om till följd af häftig pumpning eller små otätheter å öfra ledningarne luft inkommer i dessa, så att spriten sjunker i glaskulan å röret *p*, måste man ånyo genom sugning fylla densamma, för att vara förvissad, det cirkulationen ej blir afbruten. Temperaturen kring profstången iakttages medelst termometern i röret *n*. Å röret D finnas visserligen också 2:ne små rör *x*, *x*, för insättning af termometrar; men sådana skulle, när stången brister, der vara i fara att sönderslås, hvarföre termometrar i dessa blott någongång begagnats, för att kontrollera angifvelserna af termometern i *n*. Vid köldgrader, som närma sig qvicksilfrets fryspunkt eller äro ännu lägre, måste man till dessas bestämmande naturligtvis använda sprit-termometrar.

Profstängernas beskaffenhet vid afslitningsförsöken i köld, m. m.

Vid alla afslitningsförsöken i köld hafva profstängerna haft en längd af omkring 3 fot och på midten af den delen, som omslutits af röret D, varit, på en längd af omkring 0,5 fot filade fyrkantiga, samt derigenom på detta ställe försvagade, så att bristning icke kunnat inträffa på någon annan, varmare del af stången. Den fyrkantiga delen af stången har med fina tvärstreck varit indelad i hela eller stundom i halfva dec.-tum, samt arean vid hvarje delningsstreck blifvit mätt medelst det förut omtalade skrufmåttet, som jemväl vid filningen blifvit användt, för att kontrollera dimensionernas jemnhet. Sättet för stängernas fästning i sträck-

maskinen har alltid varit det ofvan beskrifna medelst stukning i begge ändar samt användning antingen af en bricka i den ena och skrufmutter i den andra ändan, på sätt i fig. 2 synes, eller af muttrar i begge ändar, hvilket sednare är beqvämare.

Tätning emellan stången samt rören *b* och *c* har åstadkommits genom tunna kautschukrör, hvilka med ena ändan varit bundna öfver *b* eller *c*, och af hvilka, då mjukt jern skolat afslitas, åtminstone det ena måst vara så långt samt så påbundet, att det tillåtit stången, att utan afsevärdt motstånd förlänga sig minst 1 dec.-tum.

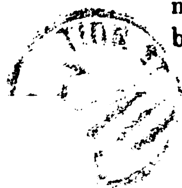
Sedan rörapparaten D blifvit på förut beskrifvet sätt satt i förbindelse med Carré'ska köldapparaten och fylld med sprit, börjar man pumpa med pumpen E, då temperaturen i D ganska hastigt faller. När denna sjunkit så lågt man önskar, företages sträckning på vanligt sätt med småningom ökade belastningar, tills stången brister. Vi hafva dervid ökat belastningen hvarje gång med en vigt på stora vinkelhäfstångens skål, som motsvarat 10 eller högst 20 skålp. på qv.-linien af den affilade profstångens genomskärning. Sedan stången brustit och uttagits ur apparaten, har dess förlängning emellan de förut uppdragna delningsstrecken, äfvensom arean af dess brottyta blifvit uppmätt.

Komparativa afslitningsförsök vid omkring +15° C.

På det försöken måtte blifva i möjligaste mån upplysande med hänseende till temperaturens inflytande på styrkan och tänjbarheten har, då stångens längd ursprungligen varit 6 fot, denna blifvit delad i 2:ne delar, hvardera om 3 fot, af hvilka den ena afslitits i köld, och den andra vid omkring +15° C. Då profstången ursprungligen varit så lång, att mer än 2:ne stänger om 3 fots längd af densamma kunnat erhållas, har åtminstone en af dessa blifvit afsliten

vid omkring 15°. Detta sätt att gå tillväga har visserligen varit mycket tidsödande; men vi hafva ansett det nödvändigt, emedan bland åtskilliga jern- och stålsorter styrkan och tänjbarheten hos särskilda stänger visat temligen stora olikheter, hvaremot man vid en någorlunda vårdad tillverkning är berättigad antaga, att materialet inom samma stång skall vara i det närmaste likartadt, hvilket försöken äfven bekräftat. Med undantag af några hårda och föga tänjbara stålstänger, hafva alla vid omkring +15° afslitna stänger under sträckförsöken varit omgifna af vatten, som haft nämnde temperatur, emedan stängerna, isynnerhet om dessa bestå af mjukt jern, genom sträckningen, sedan denna börjat åstadkomma permanent förlängning, blifva varma, och man alltså, om sträckningen sker i fria luften, icke kan af luftens temperatur noga bedöma stångens, hvilken då kan vara icke obetydligt högre.

Afslitnings-försök i värme. Som kännedomen om jerns och ståls absoluta styrka och tänjbarhet vid en temperatur af 100—200° C. i flere fall t. ex. för deras användning till ångpannor är af stor praktisk vigt, hafva vi jemväl i detta hänseende anställt undersökningar, och dervid gått tillväga hufvudsakligen på samma sätt som vid försöken i stark köld. Profstängerna hafva likasom vid sistnämnda försök varit omkring 3 fot långa samt på midten å en längd af omkring 0,5 fot jemnt affilade, så att de endast der kunnat brista. För att gifva dem önskad värmegrad, hafva vi under försöken haft dem inpassade i den ofvan beskrifna, å pl. VIII, fig. 1—4, aftecknade, samt vid afslitningsförsöken i köld jemväl använda apparaten och i densamma omgifna af smält paraffin, hvilken till följd af sin lättflutenhet för detta ändamål synts oss mycket lämplig. Paraffinen har blifvit uppvärmd i en cylindrisk kopparreservoir,



hvilken, på sätt af fig. 4 å pl, VIII visas, medelst rörledningar af koppar stått i förening med den profstången omslutande apparaten. A utmärker der, koppar-reservoiren, B en denne omgifvande plåtmantel, C en pumpinrättning, genom hvilken cirkulationen af den varma paraffinen måste påskyndas, för att temperaturen kring stången öfverallt skall vara i det närmaste lika, samt D rörapparaten kring profstången, omgifven af en zinkplåtkåpa, på det värmen bättre må qvarhållas. Den varma paraffinen inpressas underifrån genom rören *a* och *l* samt utgår upptill genom *k* och *b*. *xx* äro 2:ne korta rör för insättning af termometrar och samma ändamål har jemväl röret *c* å cylindern A. Termometrarne måste dock uppdragas ett stycke i rören *xx*, när man befarar, att stången skall brista; men som de, äfven då de äro sålunda uppdragna, sväfva i fara att gå sönder, till följd af den skakning, som uppstår i hela apparaten, när stången brister, hafva vi merendels föredragit, att blott hafva en termometer i röret *c* å cylindern A, helst dennes angifvelser vid jemn pumpning visat sig vara endast 1—2 grader högre än de i *xx* insatta, hvilket naturligtvis vid afslitningsförsök är af ingen betydenhet. Likasom vid afslitningsförsöken i köld har tätning omkring profstången, der denna utgått ur rören *h* och *i* (fig. 2), åstadkommits genom att öfver dessa och stången binda kautschukrör, af hvilka likväl det vid *h* varit tjockt, för att kunna bättre emotstå paraffinens inverkan, men det vid ändan af *i* tunnt samt från början hopskjutet, så att det legat i veck samt alltså kunnat utan synnerligt motstånd medgifva stången att förlänga sig.

Som smält paraffin äfven vid en temperatur af endast 130—150° angriper vulkaniserad kautschuk, hafva vi, för att kunna hålla ändan af kop-

parröret *i* svalare och derigenom bättre skydda dervarande tunna kautschukrör, dels gjort röret *i* längre än motsvarande rör å andra ändan, dels försvårat paraffinens cirkulation i det förra, genom att i detsamma omgifva profstången med ett kort kautschukrör, som nära fyllt mellanrummet emellan stången och kopparröret.

Föreningen emellan rören *a* och *l* samt *b* och *k* har åstadkommits genom tjocka kautschuksrör, som då högre temperatur än 160° skolat användas, varit påbundna med glödgad messings- eller jerntråd. Tätning åter emellan flänsarne å *a* och *b* samt de korta rörstyckena å cylindern A har vunnits genom mellanlagda ringar af koppar, hvilka genom glödgning blifvit gjorda mjuka.

Hela rör-apparaten har, för att ej tynga på profstången, likasom vid försöken i köld, hållits upphängd och motvägd, och på det icke stången, när den vid sträckningen höjer sig, måtte erfara någon sidotryckning till följd af cylinderns A förening med rör-apparaten, har jemväl nämnde cylinder medelst jerntrådar *ee*, som varit fästade vid de på öfra delen af cylindern anbragte sprintarne *dd*, hållits upphängd, så att den sväfvat fritt inuti plåtmanteln B.

Paraffinen har naturligtvis först i en särskild reservoir blifvit smält och uppvärmd till behörig temperatur. Dess temperatur har sedermera bibehållits eller efter omständigheterna förändrats genom en under cylindern A anbragt gaslampa, bestående af 3:ne stora Elsnerska brännare, af hvilka hvar och en haft sin regleringskran.

Efter hvarje försöks slut uttappas paraffinen genom kranen å röret *a*.

Enär, såsom förut är nämndt, paraffin vid hög temperatur starkt angriper kautschuk, hafva vi äfven

vid några afslitningsförsök haft profstången innesluten i ett tackjernsrör, som blifvit direkt uppvärmdt medelst en sådan gaslamp-apparat, som användes vid organiska analyser. Fig. 5 å pl. IV visar nämnda tackjernsrör, sedt framifrån, och fig. 6 sedt från ändan. *a, a* äro korta i gaflarne anbragta plåtrör, öfver hvilka bindas kautschukrör, för att hindra luftcirkulation, och *b, b, b* 3:ne plåtrör för insättning af termometrar. Sedan kranarne till gasbrännarne blifvit så ställda, att man erhållit önskad värmegrad, och alla 3 termometrarna visa någorlunda samma temperatur, samt denna håller sig temligen konstant, bör man upptaga termometrarna och blott emellanåt nedsätta dem, för att undersöka, huruvida temperaturen kring stången undergått någon väsendtlig förändring. Vill man äfventyra att låta termometrarne qvarsitta i apparaten medan stången afslites, böra de åtminstone uppdragas i rören *b, b* och der vara omgifna af kautschukrör, för att icke slå emot rörväggarne vid den skakning, som uppstår när stången brister.

Resultater af afslitningsförsöken vid olika värmegrader.

Resultaten af alla dessa afslitningsförsök, så väl de i köld och värme, som de för jemförelses skull vid vanlig temperatur företagna, hafva blifvit sammanförda i tab. VII.

Såsom mått å tänjbarheten hafva vi der upptagit procentiska förlängningen efter afslitning, dels på de förut uppmätta och medelst ritser utmärkta delar af stången, å hvilka brott ej inträffat, dels ock, så framt ej brottet skett utanför de yttersta ritserna, på hela den uppmätta delen. Då denna icke alltid varit lika stor, utan någongång, å mycket hårda samt i följd deraf svårfilade stänger, haft en längd af endast 3,5 eller 4 tum i stället för 4,5 tum, som varit den vanliga längden, hafva vi, för att i sistberörde händelse göra förlängningen i möj-

ligaste mån jemförbar med den å andra stänger, af de efter afslitning uppmätta förlängningarne, beräknat, huru stor den procentiska förlängningen skulle varit, ifall den indelade delen af stången ursprungligen haft en längd af 4,5 tum. Förlängningen är nemligen alltid störst på den tum-afdelning, på hvilken brottet inträffat, och förlängningen derstädes ökar naturligtvis hela procentiska förlängningen desto mera, ju kortare den indelade längden är.

Af sistnämnde tabell finner man, att bland alla i stark köld afslitne stänger blott en enda, eller gjutstål-stången N:o 18, brustit för mindre belastning än en annan del af samma stång i vanlig temperatur; men skillnaden emellan de begge brottbelastningarne är alltför obetydlig, för att förtjena afseende, och dessutom har med en annan stång af samma slag, N:o 20, ett motsatt förhållande egt rum. Icke heller har tänjbarheten i köld visat sig i allmänhet vara mindre än i vanlig temperatur.

I värme åter emellan 100 och 200° är absoluta styrkan hos jern icke obetydligt större än vid vanlig temperatur, såsom äfven Fairbairn genom sina försök funnit, under det deremot tänjbarheten i allmänhet visat sig något minskad; men hos stål synes icke någon väsendtlig skillnad, hvarken i afseende på styrka eller tänjbarhet, emellan nämnde värmegrader ega rum.

Den största tillväxten af styrkan i värme har visat sig hos de kolfattigaste jernsorterna, och för att förvissa oss derom, att detta ej är någon tillfällighet, föranledd deraf, att de affilade ställena varit hårdare, än öfriga delar af profstängerna, läto vi undersöka kolhalten å brottstället hos den i paraffinbad afslitna stången N:o 71 i tab. VII. Resultatet af denna undersökning blef, att kolhalten derstädes var 0,07 proc., och således icke större än

hos andra stänger af samma jernsort. Så väl denna undersökning, som de uti varm luft, med begagnande af den å pl. IV afteckuade tackjerns-apparaten, anställda afslitningsförsöken, ådagalägga äfven att jernets i värme visade större styrka icke kunnat härröra deraf, att paraffinen vid afslitningsförsöken kemiskt inverkat på jernet och kolbundit detsamma *).

Enär det är kändt, att egentliga vigten hos jern genom försträckning vid vanlig temperatur minskas, hafva vi ansett det kunna vara af intresse att få veta, huruvida och i hvad mån samma förhållande eger rum, då försträckningen sker vid andra värmegrader och hafva derföre för åtskilliga af de i tab. VII upptagne profstängerna bestämt egentliga vigten efter afslitning, såväl hos de affilade, som hos de gröfre genom filning icke försvagade delarne, hvilka sednare, åtminstone i allmänhet, icke genom sträckningen undergått någon märkbar förändring. Vi trodde, att man härigenom äfven möjligen skulle kunna få någon förklaring öfver jernets märkvärdiga egenskap att emellan vissa högre värmegrader vara starkare än vid vanlig temperatur; men, såsom af tab. VII synes, är i allmänhet ingen synnerlig skillnad emellan den egentliga vigtens aftagande, då afslitningen skett vid olika värmegrader.

---

*) Den förmodan, att paraffin vid så låg temperatur och på så kort tid, som för ett afslitningsförsök erfordras, och hvilken sällan behöfver öfverstiga 1 timme, skulle kunna kolbinda en jernstång, är visserligen mycket osannolik; men den bekante franske metallurgen, Chenot, har emellertid uppgifvit, att reducerad jernmalm, eller s. k. jernsvamp, genom att ligga i olja redan *vid vanlig temperatur* cementeras och förvandlas till stål, en uppgift, som dock mig veterligen icke blifvit af någon annan bekräftad.

Undersökningar rörande elasticitetsgränsen och elasticitetsmodulen hos stål och jern vid olika värmegrader. Beskrifning af dervid använda apparater.

Vi hafva jemväl anställt undersökningar för att erfara, huru läget af elasticitetsgränsen samt storleken af elasticitetsmodulen hos stål och jern äro beroende af den temperatur, vid hvilken sträckning sker. Profstängerna, som för dessa undersökningar haft en längd af omkring 6 fot, hafva dervid varit insatte i den å pl. IX, fig. 1—4 aftecknade och förut till en del redan beskrifna apparaten. Såsom nämndt är, består densamma hufvudsakligen af ett ungefär 4,76 fot långt och 17 linier vidt messingsrör *A*, på hvars undra sida nära begge ändarne inmynnar ett med detsamma parallelt mindre rör B, och från hvilket nära midten utgå 2:ne krökta rör D och E. Då försök skola anställas i stark köld, sättes D genom rörledningar i förening med öfra delen af en Carré's köldapparat, och ett på B fastlödt rör C med undra delen deraf, på hufvudsakligen samma sätt, som i fig. 3 å pl. VIII är visadt. När apparaten är i verksamhet, går den kalla spritströmmen från botten af cylindern *b* genom kautschukledningen till C, delar sig der i 2:ne delar, af hvilka en går till hvardera ändan af stora röret A. Den inkommer der på undra sidan, samt utgår på midten upptill genom D och återvänder genom den dermed förenade ledningen till öfra delen af köldapparaten *cc* äro korta, på A fastlödda rörstycken för insättning af termometrar, hvilkas kulor, derigenom att rören *cc* sitta på sidan af det genom A:s kärnlinie lagda vertikalplanet, kunna nedsänkas bredvid profstången ända till botten af *A*, då sådant önskas. Rörapparaten är för öfrigt, likasom den till afslitningsförsöken använda, omgifven af en zinkplåtkåpa och utanpå denna af en med ett tjockt lager bomullsvadd stoppad mantel, af hvilka vi likväl icke ansett nödigt att i fig. angifva någondera. Sedan den i köldapparaten an-

bragta pumpinrättningen ungefär ½ timme varit i jemn verksamhet, har, då rörapparaten varit väl omklädd, temperaturen omkring stången kunnat hållas ganska jemn, och den på midten af röret A sittande termometern har då visat endast 0,1 till 0,3 grad högre temperatur, än de begge termometrar, som varit insatta vid ändarne af A, hvarest den kalla spritströmmen inkommit.

På det den med sprit fyllda apparaten icke måtte tynga på profstången, har den, likasom vid alla andra med begagnande af denna apparat anställda försök, medelst snören hållits upphängd vid 2:ne i en ställning öfver densamma anbragta, omkring 1 fot långa vågbalanser och varit så motvägd, att, om muttrarne till skrufbultarne *kk* (fig. 2 på pl. III) i pressen blifvit lossade, den insatta profstången sväfvat fritt i hålen på tvärstyckena *h* och *i* (fig. 3 och 4, pl. III).

För försök i värme åter hafva rören C och E, af hvilka det sednare är krökt S-formigt och, för att lättare kunna krökas, erhållit elliptisk genomskärning, medelst tjocka kautschukrör blifvit förenade med de rör (*a* och *b*), som utgå från den å pl. VIII, fig. 4 och 5, framställde koppar-reservoir *A*. Sedan hela apparaten blifvit fylld med varm paraffin, tryckes denna medelst den i A befintliga pumpen C genom rören *a* (fig. 4 å pl. VIII) och C (fig. 2 och 3 å pl. IX) till B, delar sig der i 2:ne strömmar, som inkomma i A på undra sidan nära ändarne. Paraffinen, som, i den mån den afkyles, sjunker till botten, utgår derföre äfven på undra sidan af *A* genom röret E, och återvänder genom det i fig. 4 å pl. VIII med *b* betecknade röret till ofvannämnde koppar-reservoir, för att der ånyo uppvärmas. Den profstången omslutande rörapparaten har naturligtvis jemväl vid dessa försök varit om-

g[illegible] af en [illegible] än en [illegible] omsorg-
gad massa.

Från pannan genom pumpinrättningen C in-
dref man ångan [illegible] på angifne
sätt [illegible], sedan de vid ändarne af A insatta
termometrarne visat [illegible] än 11
grad., och sedan pumpen [illegible] varit i
gång, när termometern A [illegible] icke mer än
6½ grad. [illegible] från de öfriga. Som pa-
rallel, på sätt förut är omnämndt, vid en tempe-
ratur öfverstigande 150° genast [illegible]
ett tunt kautschukrör, hafva vi vid dessa försök
sällan begagnat högre temperaturer.

På midten af röret A, fig. 1 och 2, pl. IX, är den förut beskrifna inrättning anbragt, genom hvilken man kan kontrollera, att profstången blir så inspänd, att den sträckande kraften verkar i möjligaste mån centralt, och tillika göra korrektioner för stångens olika krökning vid särskilda tillfällen *). Formeln för dessa korrektioner, äfvensom

*) Bredvid rören ee fig. 1—4, pl. IX och parallelt med desamma hafva vi äfven låtit anbringa 2:ne större rör ll, uti hvilka 2:ne på nedra ändarne i rät vinkel krökta stänger mm hafva sin styrning. Ändamålet med dessa stänger är, att medelst desamma kunna underifrån fatta profstången och höja den, tills den ligger an emot de vid ett föregående försök inställda och medelst ställskrufvar vid rören ee fästade stängerna dd, så att dess midt kommer i fullkomligt samma läge, som vid det föregående försöket. Stängerna mm måste naturligtvis, sedan stången med dem blifvit behörigen upplyftad, äfven fästas, hvilket sker genom små hylsor, som fastskrufvas på desamma, så att de ligga an emot de i öfra delarne af rören ll anbragte packdosorna. Vill man uppmäta längden af profstången, sedan denna blifvit på förut angifvet sätt frigjord, hvilket hufvudsakligen kan ifrågakomma, då på skålen under stora vinkelhäfstången finnas så stora belastningar, att dessas aflyftande skulle vara mycket besvärligt, kan man alltså bringa stångens midt i samma ställning, som den haft vid en före-

för de till följd af temperatur-förändringar nödiga, hafva vi, då skalornas planer, såsom i allmänhet varit fallet, ligga omkring 3,6 linier öfver stängernas kärnlinier, ofvan (sid. 75) funnit vara:

$$L'-L=l_{,}-l_{0}+0{,}064\,(x_{,}+y_{,}-x_{,,}-y_{,,})-7248\,\delta(t_{,}-t_{,,}).$$

Dels och hufvudsakligen på grund af kända undersökningar af utvidgningskoefficienterna för stål och jern, dels ock på grund af några egna försök, vid hvilka vi vid en temperaturskillnad af 5°—10° C. noga mätt längden af flera i vår apparat insatta stål- och jern-stänger, då dessa af en lämplig sträckvigt hållits raka, hafva vi funnit oss böra åt koefficienten till $t_{,}-t_{,,}$ i vår formel gifva följande värden.

			$7{,}248\,\delta=$
För stål vid omkring		$-25°$	0,065.
	D:o	$+15°$	0,078.
	D:o	$+130°$	0,088.
För jern vid omkring		$-25°$	0,072.
	D:o	$+15°$	0,085.
	D:o	$+130°$	0,095.

Utvidgningskoefficienten hos stål synes visserligen i allmänhet minskas, när kolhalten ökas; men, som temperaturskillnaden vid 2:ne successiva sträckningar sällan stigit till mer än 0,5 grad, hafva vi ej ansett oss behöfva göra afseende derå. Profstängernas temperatur angifves dessutom icke fullkomligt noga af termometrarne, hvarföre de korrigerade längdmätningarne alltid visat bästa öfver-

gående mätning, då stången varit spänd af en nog stor kraft, för att hållas i det aldranärmaste rak. Som emellertid det visat sig att, äfven genom användning af nämnda krokar, den frigjorda stångens längd icke kan med samma noggrannhet uppmätas, som längden af stången, då denna genom en måttlig kraft är spänd, hafva vi högst sällan betjenat oss af de ifrågavarande krokarne och aldrig då stor noggrannhet varit erforderlig.

ensstämmelse, när temperaturen kunnat hållas i det närmaste konstant.

Den till förlängningarnes uppmätning begagnade mätstången har vid alla dessa försök, för att ej erfara något inflytande af den kalla eller varma rörapparaten, varit omlindad med bomullsvadd och kaliko, hvarigenom den varit så väl skyddad, att innanför bomullen anbragta termometrar under ett par timmars försöksserie, sällan fallit eller stigit mer än 1 grad, hvarföre man kan vara förvissad, att sjelfva mätstången icke kunnat märkbart förändra längd under den korta tid, som förflutit emellan 2:ne successiva längdobservationer, hvilket naturligtvis vid bestämningar af elasticitets-modulen är af största vigt.

Försök rörande elasticitets-gränsens läge vid olika temperaturer.

Enär vid ifrågavarande försök temperaturen hos de delar af profstängerna, som lågo emellan gaflarne af röret A och skalornas fästpunkter, kunde vara icke obetydligt olika *) med den inuti röret *A*, ansågo vi för undersökningarne rörande elasti-

*) För att erhålla en ungefärlig kännedom om den temperatur, som herrskade på dessa delar af profstången, fastlöddes vid de på 5 fots afstånd afsatta ritserna, alltså vid skalornas fästpunkter, trådar af nysilfver och jern, af hvilka nysilfvertrådarne voro med sina andra ändar sammanlödda med andra jerntrådar och hade lödningsställena efter omständigheterna insatta i bad af kall sprit eller varm paraffin, hvilkas temperatur noga kunde regleras och mätas. Då nu jerntrådarne sattes i förbindelse med en galvanometer, kunde temperaturen på termo-elektrisk väg med behörig noggrannhet bestämmas. Sålunda funno vi, att när ena skalans fästpunkt låg 15 linier utanför gafveln af röret *A*, och temperaturen inuti samma rör var -32^{0}, så var den vid skalans fästpunkt -5^{0}, och då den på förra stället var $+137^{0}$, var den på det sednare endast $+76^{0}$, sedan i begge fallen temperaturen inuti röret åtminstone $\frac{1}{4}$ timme hållits någorlunda konstant.

Genom att fastlöda nysilfver- och jerntrådar vid gränsen emellan en profstångs filade och ena icke filade del, funno vi på lika sätt; att då stången uppvärmdes i paraf-

citetsgränsen, det vara nödigt att förhindra permanenta förlängningar på nämnde delar och hafva derföre till sistberörda undersökningar, med ett enda undantag, icke användt andra stänger än sådana, som blifvit på en längd af omkring 4,5 fot affilade, så att genomskärningen der, äfven då den förut varit rund, blifvit i det närmaste qvadratisk, och i allmänhet omkring 33 procent mindre än å öfriga delar, samt inpassat stängerna på det sätt i apparaten, att den affilade delen varit helt och hållet innesluten i röret *A* (fig. 1 och 2, pl. IX), och dess ändar legat ungefär lika långt från rörets gaflar. Vi hade en särskild anledning till detta försigtighetsmått, emedan vi vid några förut gjorda vridningsförsök funnit, att elasticitetsgränsen hos både jern och stål i stark köld är högre, än i vanlig temperatur *).

---

finbad af omkring 140°, och nämnde gränsställe låg ungefär 10 linier innanför gaflarne af röret A, temperaturen derstädes åtminstone icke var mer än 0.3 grad lägre, än den bredvid i röret insatte termometerns, och torde vi alltså kunna anse, att våra i röret *A* insatta termometrar i allmänhet med tillräcklig noggrannhet angifvit medeltemperaturen hos profstångens affilade del.

*) Dessa försök anställdes med stål- och jerntrådar af omkring 1 linies diameter, hvilka voro insatta i kärnlinien af cylindern *b* (fig. 3, pl. VIII) å Carré's köldapparat och medelst en sorts skrufklofve fästade vid nedra delen af reservoiren B samt hade sin öfra ända fästad vid en jernaxel. Denna åter hade sin styrning i ett messingslager, som var anbragt i midten af ett till cylindern *b* gjordt trälåck, och kunde medelst ett handtag kringvridas. Cylindern *b* var under försöken till största delen fylld med sprit.

Det visade sig härvid, att så snart någon del af jern- eller ståltråden stod ofvanför den kalla spriten, blef nästan endast denna mindre kalla del vriden, tills tråden slutligen der brast; men när jernaxeln räckte ned i spriten, blef tråden någorlunda jemnt vriden. Genom att förkoppra trådarne på ena sidan, kunde man i allmänhet lätt räkna antalet hvarf, som trådarne kunde vridas på en viss längd, innan de brusto. Vi undersökte på detta sätt jerntråd från

Såsom förut blifvit ådagalagdt, är elasticitetsgränsens läge hos stål och jern i hög grad beroende af den mekaniska behandling, en stång undergått, och den temparatur, för hvilken den dervid eller sedermera varit utsatt; och man kan derföre aldrig med noggrannhet känna nämnde läge, utan att särskilt undersöka detsamma; men en sådan undersökning kan ej anställas, utan att elasticitetsgränsen derigenom höjes. Som vi likväl hade funnit, att hos en stång, hvilken blifvit sträckt öfver sin elasticitetsgräns, man *under vanliga förhållanden* lätt kan bestämma läget af den nya, genom att grafiskt framställa de permanenta förlängningarne, enär, såsom å sid. 50 blifvit anmärkt, öfra delen af förlängningskurvan för en ny, vid samma temperatur anställd, försöksserie då ligger i förlängningen af den föregåendes kurva, trodde vi, när vi började dessa försök, att vi, med begagnande af nämnda egenskap, skulle kunna tillräckligt noga lära känna elasticitetsgränsens beroende af den temperatur, vid hvilken sträckningen sker. Man borde då för sådant ändamål hos hvarje stång först bestämma elasticitetsgränsen vid vanlig temperatur, sedan i stark köld eller hög värme, derefter upprita förlängningskurvorna för begge försöksserierna och slutligen tillse, hvarest tangenten till öfra delen af den sednare seriens kurva skär ordinatan till slutpunkten å den förras, såsom på pl. X vid de 3:ne första kurvorna för stången N:o

---

Lesjöforss och Gunnebo, tråd dragen af mycket kallbräckt härdfärskadt jern med 0,25 procent fosfor, och Engelsk gjutstålstråd, hvilka alla på en viss längd kunde vridas ungefär lika många hvarf vid en köld af —30 till —40 grader, som i vanlig temperatur, innan de brusto.

Dessa preliminära försök syntes alltså jemväl antyda, att stål och jern icke, såsom man förut temligen allmänt trott, blifva spröda i köld, utan då hafva ungefär lika stor skufbarhet eller seghet, som i vanlig temperatur.

2 i tab. VIII medelst punkterade linier blifvit visadt. Längden af det stycke å denna ordinata, som ligger emellan berörde tangent och föregående kurvas slutpunkt skulle då vara måttet å elasticitetsgränsens *temporära* höjning eller sänkning, till följd af den olika temperatur, som egt rum vid begge försöken. Vi funno på detta sätt elasticitetsgränsen både hos stål och jern i köld alltid ligga högre och hos jern i värme lägre, än då sträckningen sker i vanlig temperatur, men deremot hos hårdt stål vid 130—150 graders värme än högre och än lägre, och, då sådant ståls elasticitetsgräns, efter att vid omkring 140° hafva befunnits ligga högre, än vid omkring 15°, ånyo undersöktes vid sistnämnda temperatur, befanns den ofta ligga ännu högre, än man på grund af den i värme anställda försöksserien skulle väntat. (Jemför tab. VIII, stången N:o 1, 7:de och 8:de försöksserierna samt stången N:o 3, 4:de och 5:te serierna). Orsaken härtill är, såsom vi sedermera fingo tillfälle iakttaga, att hos en försträckt stång, äfven en så ringa uppvärmning, som till 130—150°, åstadkommer en förändring af metallens molekulartillstånd, hvilken qvarstår, sedan värmen upphört, och att derigenom elasticitetsgränsen ofta *permanent* förändras. Enär glödgning, såsom vi veta, sänker elasticitetsgränsen hos jern och stål, då den förut genom sträckning eller andra mekaniska medel blifvit höjd, hade vi icke väntat, att en lindrigare uppvärmning skulle, kunna ytterligare höja densamma. (Jemför tab. VIII, stängerna N:o 1, 2:dra försöksserien, N:o 6, 2:dra försöksserien och N:o 9, 7:de försöksserien). Någongång hafva vi äfven funnit elasticitetsgränsen hos försträckta stänger märkbart höjd endast derigenom, att stången fått hvila några dagar efter försträckningen. Vi hafva förut omförmält, att jemväl elasticitetsmodulen hos försträckta jern- och stål-

stänger kan genom hvila eller lindrig uppvärmning höjas. Metallen synes alltså genom nämnda medel liksom hämta ny kraft efter den öfveransträngning, för hvilken den varit utsatt. Deremot hafva vi icke funnit att afkylning till låga köldgrader har något afsevärdt *permanent* inflytande på elasticitetsgränsens läge hos jern och stål.

Ehuru, genom att gå tillväga på det sätt, som skett, vi, vid bestämning af elasticitetsgränsen i värme, icke erhållit värmets temporära inflytande skildt från det permanenta, och de resultater, till hvilka vi på ofvan angifna sätt kommit, derföre icke ens för jern lemna något tillförlitligt *mått* å den genom uppvärmningen åstadkomna temporära förflyttningen af elasticitetsgränsen, hafva vi likväl, enär detta ämne är så litet utredt, ansett dem förtjenta att meddelas och derföre upptagit dem i tab. VIII, jemte resultaten af våra undersökningar rörande elasticitetsgränsens läge i stark köld, äfvensom af de försök, som blifvit anställda, för att utröna det *permanenta* inflytandet af en uppvärmning eller afkylning. De anställda undersökningarne rörande elasticitetsgränsens läge vid olika värmegrader torde emellertid, med en åtminstone för praktiska ändamål tillräcklig noggrannhet, visa, *huru mycket* samma gräns hos jern och stål ligger högre, då dessa sträckas i köld, och *inom hvilka gränser* den kan variera, då sträckningen sker i värme vid en temperatur, som icke öfverstiger 150° *). Å pl. X hafva några af ifrågavarande försök blifvit grafiskt framställda.

*) Vi skulle visserligen äfven kunnat undersöka elasticitetsgränsens olika läge vid olika temperaturer, genom att undersöka särskilda delar af samma stång vid olika värmegrader, men hafva icke haft tillgång till stänger, som för dylika undersökningar varit nog långa och tillika egt tillräcklig jemnhet.

(Forts.)

rn vid ol

ffilade och

f samma st

998
734
774
953
921
739
675
833
935
1161
966
985
920
1072
807
744
646
906
819
914

hos andr

Tab. IX.

gar rörand

Genomskärns					
form.	k- i r fl m- öj- f β.	tillväxt,	genom en temperatursänkning		tillväxt i medeltal för en temperatursänkning af 1° C. = β.
			från	till	
	t.	Procent.	Gr. Cels.	Gr. Cels.	Procent.
Rund		0.5	+10	—23	0.015
Qvadratisk		1.0	+ 9	—30	0.025
D:o		—	—	—	—
D:o		—	—	—	—
D:o		—	—	—	—
Rund		—	—	—	—
D:o		1.2	+10	—24	0.035
Qvadratisk		2.1	+11	—33	0.047
D:o		—	—	—	—
Rund		—	—	—	—
D:o		—	—	—	—
D:o		—	—	—	—
D:o		—	—	—	—
Qvadratisk		1.9	+ 9	—32	0.046
D:o		—	—	—	—
D:o		—	—	—	—
D:o		2.0	+13	—32	0.044
D:o		—	—	—	—
D:o		—	—	—	—
D:o		—	—	—	—

larean å de

a, procentis.

inga
fot,

ilade
.
nin-

unge
fär-
liga
dia-
mete
eller
sida.

Linier

—
—
—
4.2
—
—
4.2
4.3
5.3
—
—
—
—
—
—
—
—

Tab. X.

ingar rċ

fot, och

ilade :. ·nin- unge-fär-liga dia-meter eller sida.	Den g me bre	Anmärkningar.
Linier.	Li	
—	4.	ıa N:ris 1, 2 och 3 tillhörde icke det vid Högbo
—	2.	n beställda partiet af stål- och jernprofver, utan i Stockholm.
—	2.	№ 2, för hvilken efter glödgning elasticitets-
4.2		id sträckning funnits vara endast 445000 ℔,
—	3.	s genom böjning i 2:ne emot hvarandra vinkelräta och var dervid dess elasticitetsmodul i den ena
—	2.	465000 och i den andra 460000 ℔ på qv.linie.
4.2		lasticitetsmodulen hos glödgade stången № 3
4.3		vid sträckning vara 499000, men vid böjning
		ra blott 469000 ℔ på qv.linie, glödgades stången
5.3		igenom likväl modulen icke höjdes till mer än
—	3.	på qv.linie.
—	2.	
—	3.	
—	2	att gifva stången № 13 permanenta böjningar
—	3.	la dess längd och derefter uträta densamma, dess elasticitetsmodul med 6.6 procent.
—	4	tsmodulen hos glödgade stången № 15 var vid böj-
—	3.	399000, och befanns, sedan stången ännu en gång
—	3.	lgad, icke höjd till mer än 401000 ℔ på qv.linie.

Pl. X.

Innehåll.

Pris: för prenumeranter på hel årgång .... 5 Rdr —— Rmt.
för detta häfte .... 1 Rdr 40 öre »

STOCKHOLM, TRYCKT HOS JOH. BECKMAN, 1866.